Über den Chemotropismus der Wurzel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

bei der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Rostock

vorgelegt von

Maurice Lilienfeld
aus Berlin.

Leipzig.
Verlag von Georg Thieme.
1905.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549205_0108

Über den Chemotropismus der Wurzel.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

bei der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Rostock

vorgelegt von

Maurice Lilienfeld
aus Berlin.

AGAD
LIBRARY
KIEL

Leipzig.
Verlag von Georg Thieme.
1905.

Ref. Herr Prof. Dr. Falkenberg.

Dem Andenken meiner unvergeßlichen

Großmutter

gewidmet.

I. Einleitung und Literatur.

Unter dem Chemotropismus der Wurzel versteht man eine Krümmungsbewegung der wachsenden Wurzelspitze nach einer chemischen Reizquelle hin oder von dieser hinweg.

Es ist insbesondere für viele freibewegliche Organismen festgestellt worden, daß sie der ihnen dargebotenen Nahrung nachgehen können, indem diese Nahrung (als chemischer Stoff) je nach seiner chemischen Qualität oder nach seiner Quantität auf den Organismus einen richtenden Reiz ausübt. Derartige Orientierungsbewegungen sind (in biologischer Hinsicht) für die Pflanzen von sehr hervorragender Bedeutung, und wir begegnen ihnen fast in jedem Entwicklungsstadium sehr vieler Pflanzen. Sie spielen eine hervorragende Rolle bei den Befruchtungsvorgängen, von welchem beispielsweise die Sexualvorgänge bei den *Archegoniaten* erwähnt sein mögen. Daß die Spermatozoiden bei dieser Pflanzenfamilie nicht durch Zufall in die Eizelle gelangen, sondern daß sie durch chemische Reizwirkungen angelockt werden, ist von Pfeffer[2]) exakt nachgewiesen worden. Pfeffer hat auch festgestellt, daß das Archegonium der Farne zur Anlockung der Samenfäden apfelsaure Salze ausscheidet[3]), während z. B. bei *Funaria*, deren Befruchtungsvorgang ebenfalls von Pfeffer[4]) studiert wurde, der (in dem aus den Bauch- und Halskanalzellen entstandenen Schleim enthaltene) Rohrzucker, die Bewegungsrichtung der auf den Archegoniumhals zusteuernden Spermatozoiden, bestimmt.

---

[1]) Vergl. auch Ber. d. Deutschen Bot. Ges. 1905, XXIII, Heft 2, S. 91—96, Vorläufige Mitteilung über den Chemotropismus der Wurzel.

[2]) Pfeffer: Unters. bot. Inst. Tübingen I., 303.

[3]) Pfeffer: l. c.

[4]) Pfeffer: l. c.

Overton[1]) und Haberlandt[2]) haben es wahrscheinlich gemacht, daß die Kopulationsschläuche der *Spirogyra* durch chemischen Reiz zusammengeführt werden. Ähnliche Beispiele sind vielfach in der Literatur erwähnt und durch die Untersuchungen von Brefeld, Büsgen, de Bary, Frank, Hartig, Marshall-Ward, Reinhardt, Woronin, Zopf und mehrerer anderer Forscher (vgl. Pfeffer[3]) bekannt geworden.

Auch die Eigenschaft der Samen vom *Orobanche* und *Lathraea*, nur auf der Wurzel ihrer Wirtspflanze zu keimen, ist, wie Koch[4]) und Heinricher[5]) wahrscheinlich gemacht haben, auf chemische, von der Wurzel der Nährpflanze ausgehende Reize zurückzuführen, und solche Reize scheinen auch für die Fortentwicklung der Sporen gewisser Pilze nötig zu sein.[6])

Auch für *Bakterien*, *Flagellaten*, *Volvocineen* und die Schwärmsporen von *Saprolegnia* sind durch chemische Stoffe verursachte Reizbewegungen bekannt geworden.[7]) Von anorganischen Stoffen waren hier namentlich die Kaliumsalze und die Phosphate wirksam, von organischen das Pepton und das Asparagin.

Daß chemische Reize für die Wachstumsrichtung der Pollenschläuche maßgebend sein dürften, wissen wir aus den Arbeiten von Straßburger[8]) und Molisch.[9]) Letzterer stellte beispielsweise fest, daß die Pollenschläuche zahlreicher Gewächse den Ausscheidungen des Gynäceums, namentlich denen der Narbe gegenüber, chemotrop sind.

Die durch Molisch festgestellte Reizbarkeit der Pollenschläuche durch einseitig diffundierende chemische Stoffe ist durch die interessanten Untersuchungen von Miyoshi[10]) und

---

[1]) Overton: Über den Konjugationsvorgang bei Spirogyra, Ber. d. deutsch. bot. Gesellschaft 1888 III.

[2]) Haberlandt: Zur Kenntnis der Konjugation bei Spirogyra, Sitz.-Ber. d. kaiserl. Akademie d. Wiss. in Wien, 1890, Bd. XCIX.

[3]) Pfeffer: Pflanzenphysiologie 1904.

[4]) Koch: Entwicklungsgeschichte d. Orobanchen, Heidelberg 1887, S. 3.

[5]) Heinricher: Ber. d. bot. Ges. Gen.-Vers. 1894, S. 126.

[6]) de Bary: Pilze 1894, S. 376.
Bennecke: Jahrb. f. wissensch. Bot. 1895, Bd. 28, S. 501.

[7]) Pfeffer: l. c. 1888, 2, S. 582.
Stange: Bot. Ztg. 1890, S. 107.
Wortmann: Zur Kenntnis d. Reizbewegungen. Bot. Ztg. 1887, S. 812.

[8]) Straßburger: Über fremdartige Bestäubung, Pringsheims Jahrb. f. Bot. 1886, XVII, S. 92.

[9]) Molisch: Zur Physiologie des Pollens etc. Sitz.-Ber. d. kais. Akad. d. Wiss. Wien, Bd. CII, Abt. I, S. 423ff. u. über die Ursachen d. Wachstumsrichtung etc. daselbst. Januar 1889 No. II, S. 11.

[10]) Miyoshi: Chemotropismus der Pilze, Bot. Zeit. 1894, S. 1—27.
Derselbe: Über Reizbewegungen d. Pollenschläuche, Flora 1894, S. 76—94.

durch die Versuche von Lidfors[1]) in glänzender Weise bestätigt worden, und ist es hauptsächlich aus den Untersuchungen Miyoshi's bekannt, von welch' entscheidender Bedeutung die chemotropischen Reize für das Eindringen der Parasiten in die Wirtspflanze oder das Nährsubstrat sind.

Als nämlich Miyoshi Blätter von *Tradescantia* mit der Lösung des zu untersuchenden Stoffes injizierte und auf der befeuchteten Epidermis Pilzsporen aussäte, krümmten sich die Pilzfäden in die Spaltöffnungen, aus denen der injizierte Stoff nach außen diffundierte, hinein, wenn dieser Stoff positiv chemotropisch wirkte, während sie z. B. nach Injektion des Blattes mit Wasser, unbeeinflußt über die Spaltöffnungen des Blattes hinwegwuchsen. Miyoshi untersuchte eine große Menge von Stoffen in verschiedener Konzentration und hat festgestellt, daß einige als gute, andere als mäßige Lockmittel anziehend wirkten, während wiederum andere, wenn sie überhaupt eine Wirkung ausübten, zu einer Abstoßung führten. Ammonphosphat und andere Ammonverbindungen, Phosphate im Allgemeinen, Pepton, Asparagin und Zucker waren gute Lockmittel; freie Säuren und Alkalien, gewisse Salze wie Kalisalpeter, Magnesiumsulfat, weinsaures Kalium und Natrium wirkten auch in schwacher Konzentration abstoßend. Gegenüber einer Reihe von Stoffen, z. B. gegenüber Glycerin, verhielten sich die Pilze und Pollenschläuche dagegen indifferent. Miyoshi's Feststellung, daß die untersuchten Pilze sich nicht allen Stoffen gegenüber gleich verhalten, erscheint begreiflich, ebenso der von ihm erwähnte Umstand, daß für den Verlauf der Ablenkung die Konzentration des jeweilig untersuchten Stoffes maßgebend ist. Er erkannte, daß die Resultate von den Konzentrationsdifferenzen, die der Diffusionsstrom schafft, abhängig sind. „Bei Abnahme der Konzentration eines positiv-chemotropisch wirkenden Stoffes sinkt die Stärke der Anziehung und verschwindet, während bei zu starker Zunahme im Gegenteil Abstoßung eintritt. *Mucor stolonifer* z. B. verhielt sich bei einer 2%igen Rohrzuckerlösung stark positiv chemotropisch, bei 0,1 % war die Wirkung erheblich schwächer, auf noch verdünntere Lösungen reagierte der Pilz überhaupt nicht. Stieg aber die Konzentration über 2 %, so stieg auch die anziehende Wirkung bis zu einem Maximum, bei 15, 20 und 30 % wurde sie jedoch wieder schwächer, um schließlich bei 50 % einer Repulsionswirkung Platz zu machen."

Ähnliche Reizkrümmungen stellte Molisch[2]) bei Wurzeln fest. Er gelangte zu dem Resultate, daß die Wachstumsrichtung der Wurzeln durch einseitige Einwirkung verschiedener Stoffe in ganz bestimmter Weise beeinflußt wird. Molisch operierte mit Gasen, aus welchem Grunde die bei seiner Versuchsanordnung eingetretenen Krümmungen als aerotropische anzusprechen sind,

[1]) Lidfors: Berichte der bot. Ges. 1899, 17, S. 236.

[2]) Molisch: Über die Ablenkung der Wurzeln etc. Sitz.-Ber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. 1884, Abt. I, Bd. XC, S. 111 ff.

zumal er fand, daß sich die in sauerstoffarmer Luft befindlichen Wurzeln nach dem sauerstoffreicheren Gasgemisch krümmten, sich also positiv-aerotropisch verhielten. Außerdem rief nach diesem Forscher die einseitige Darbietung von Kohlensäure, Ätherdampf, Kampferdampf, Chlor, Chlorwasserstoffgas, Leuchtgas etc. eine negativ-tropistische Wurzelkrümmung hervor und wurde diese auch an dekapitierten Wurzeln beobachtet.

Nun kennen wir bereits in dem sogenannten Traumatotropismus eine Art von Krümmungen, die von Darwin[1]) entdeckt, von Spalding[2]) und Wiesner[3]) eingehend studiert wurde und durch einseitige Verletzung der Wurzelspitze, z. B. durch Ätzen hervorgerufen wird. Da man eine solche Krümmung durch verschiedene Mittel hervorrufen kann, so war es nicht unwahrscheinlich, daß die von Molisch angewandten, in hohem Grade schädlichen Gase eine solche Krümmung hervorgerufen hatten, zumal es Molisch selbst gelungen war,[4]) den Hydrotropismus auf die Darwinsche Krümmung zurückzuführen. Bei der Anwendung der vorgenannten Gase bestreitet aber Molisch, daß ein Spezialfall der Darwinschen Krümmung vorliegt und kommt schließlich zu einem Ergebnis, welches er dahin zusammenfaßt, daß, wenn einer wachsenden Wurzel gewisse Stoffe einseitig dargeboten werden, die Wurzel von ihrer normalen Wachstumsrichtung in bestimmter Weise abgelenkt wird, daß ferner die Wurzel gegen verschiedene Stoffe in verschiedenem Grade empfindlich ist, und daß die Wirkung, wie dies bereits Miyoshi[5]) für Pilze und Pollenschläuche festgestellt hatte, von der Konzentration abhängig ist. Die durch Gifte hervorgerufene positive Krümmung kommt nach seiner Ansicht dadurch zustande, daß die konkave Wurzelseite geschädigt wird und infolge dessen weniger in die Länge wächst, als die Gegenseite. Aus dem Umstande, daß geköpfte Wurzeln genau so auf chemische Stoffe reagieren wie unverletzte, folgert Molisch, daß der Chemotropismus als eine paratonische Nutation anzusehen ist, bei welcher die äußere Ursache die wachsende Region direkt beeinflußt und nicht, wie bei dem Geo- oder Hydrotropismus erst unter der Intervention der Wurzelspitze. Obwohl nun die Wurzel in der Natur unter normalen Bedingungen keine Gelegenheit finden wird, auf die von Molisch angewandten schädlichen Gase zu reagieren, da sie dieselben im Nährboden nicht antrifft, schließt dieser Forscher aus den Ergebnissen seiner Versuche, daß die Wurzel das Vermögen besitzt, nährstoffhaltige Orte aufzusuchen, und sich denselben zuwenden wird. Nicht mit Unrecht hebt Pfeffer[6]) her-

[1]) Darwin: Das Bewegungsvermögen der Pflanzen, deutsch von Carus, Stuttgart 1881.
[2]) Spalding: Traumatropism of roots. Annals of Botany, 8. 423. 1894.
[3]) Wiesner: Bewegungsvermögen der Pflanzen, Wien 1881.
[4]) Molisch: Untersuchungen über Hydrotropismus, Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, Bd. LXXXIX, I. Abt. S. 31—34.
[5]) Miyoshi l. c.
[6]) Pfeffer: Pflanzenphysiologie 1904, Bd. II, S. 586.

vor, daß es eingehender Studien bedarf, inwieweit solche Reizungen eine Rolle bei den Orientierungsbewegungen der Wurzeln im Wasser und im Boden, also unter natürlichen und normalen Wachstumsbedingungen spielen.

Größeres Interesse bieten Untersuchungen über das Verhalten der Wurzeln gegenüber Nährsalzen oder solchen Stoffen, die entweder unter natürlichen Verhältnissen in dem Erdboden enthalten sind oder demselben künstlich zugeführt werden. Würden nämlich chemische Stoffe sowohl durch ihre Qualität als auch durch ihre Quantität einen richtenden Reiz auf die fortwachsende Wurzel ausüben, so wäre hiermit ein wichtiges Anpassungsvermögen der Pflanzen an ihre Ernährungsbedingungen festgestellt. Dieses Anpassungsvermögen wäre durchaus erklärlich, wenn man sich den großen Nutzen vor Augen hält, welchen die Wurzel aus einer Befähigung, sich nützlichen Stoffen zuzuwenden und von schädlichen abzuwenden, ziehen könnte.

Eine Feststellung der vorerwähnten Anpassungsfähigkeit würde nichts Absonderliches darbieten, zumal es seit langem bekannt ist, daß beispielsweise der Erdboden, je nach seiner chemischen Beschaffenheit, die Formation des Wurzelsystems, dessen hauptsächliche Aufgabe in der Versorgung der Pflanze mit ausreichender Nahrung liegt, in hohem Grade beeinflußt. So breiten sich bekanntlich die in einem zu trockenen Boden schlecht wachsenden Wurzeln bei einseitiger Trockenheit in den feuchteren Bodenpartien aus, nach denen sie zudem durch den Hydrotropismus gelenkt werden. An den Wurzelträgern von *Selaginella* wird erst durch genügende Feuchtigkeit z. B. die Produktion von Wurzeln veranlaßt,[1]) und ohne Zweifel dürften dieselben Umstände die reichliche Verästelung der Luftwurzeln erst mit dem Eindringen in den Erdboden verursachen.[2]) Derartige Beeinflussungen des Wurzelsystems sind auch vielfach bei Pflanzen beobachtet worden, deren Wurzeln in ihrer chemischen Zusammensetzung voneinander verschiedene und miteinander abwechselnde Bodenschichten durchwuchsen. Im allgemeinen ruft ein besserer Boden zugleich eine reichlichere Entwicklung des Wurzelsystems hervor.[3]) Bei den an die Scholle gefesselten Pflanzen ist deshalb ein derartiges Anpassungsvermögen mit der Absicht auf die Gewinnung der Nahrung durchaus verständlich.

Die Beobachtung in freier Natur ist allerdings infolge der Undurchsichtigkeit des Erdbodens und infolge der meistens sehr starken Ausbreitung des Wurzelsystems sehr erschwert. Auch ist es schwierig, in Versuchen Verhältnisse herzustellen, welche

[1]) Pfeffer: Arbeiten d. bot. Inst. in Würzburg, 1871, Bd. 1, S. 97.

[2]) Schimper: Bot. Zentralbl. 1884, Bd. 17, S. 285, und Bot. Mitteilg. a. d. Tropen, 1888, Heft 2.

[3]) Nobbe: Versuchsstationen 1862, Bd. IV, S. 217, und 1868, Bd. X, S. 94.
Stohmann: Jahresberichte d. Agrikulturchemie 1868/69, S. 242.
Höveler: Jahrbuch f. wiss. Bot. 1892, Bd. 24, S. 294.
A. B. Frank: Bot. Ztg. 1893, p. 153.
Thiel: Mitget. bei Sachs, Exper.-Phys. 1865, S. 178.

denen in freier Natur vollkommen entsprechen. Aus diesem Grunde haben es jüngst Newcombe und Rhodes[1]) unternommen, das Verhalten der Wurzel gegenüber chemischen Stoffen zu untersuchen, die ihr in Gelatine dargeboten werden.

Diese Forscher zogen in den Bereich ihrer Untersuchungen die Wurzeln von Keimlingen von *Lupinus albus* und *Cucurbita Pepo* und machten folgende Beobachtungen:

Wurden bei einer Durchschnittstemperatur von 23° 5—7 cm lange Wurzeln der Keimlinge von *Lupinus albus* in einer dunklen Dampfkammer zwischen zwei aus 6%iger Gelatine und destilliertem Wasser bereiteten Blöcken derart befestigt, daß die Blöcke von beiden Seiten die Wurzeln berührten, so wuchsen nach 24 Stunden sämtliche Wurzeln in einen dieser Blöcke ein und zwar in denjenigen, welcher durch Auflösung von Gelatine in einer 0,28%igen Lösung von trockenem Natriumphosphat (Na_2HPO_4) in destilliertem Wasser bereitet worden war, während der andere Block dieses Salz nicht enthielt und lediglich aus einer erstarrten 6%igen Lösung von Gelatine in destilliertem Wasser bestand. Der Krümmungswinkel betrug etwa 45°. Dieselbe Erscheinung trat bei Anwendung einer 1,5%igen Lösung von Natriumphosphat ein; die in den dieses Salz enthaltenden Block eingedrungenen *Lupinus*-Wurzeln waren aber abgestorben; während schon bei einer Konzentration von 2% dieses Salzes die Wurzeln bereits nach einigen Stunden, ohne weiter gewachsen zu sein, abgestorben waren.

Obwohl nun diese Erscheinung erklärlich sein könnte, da es bereits aus den Untersuchungen von Rothert[2]) bekannt war, daß einige freischwimmende Organismen in Lösungen hineinschwimmen, deren hoher osmotischer Druck ihren Tod herbeiführt, und da Pfeffer[3]) festgestellt hat, daß die chemotropische Reizwirkung eines Stoffes keineswegs seinem Nährwert entspricht, und daß die Pflanzen nach den bisherigen Erfahrungen kein ausgesprochenes Wahlvermögen zwischen nützlichen und schädlichen Stoffen besitzen, war die vorerwähnte Reaktion der Wurzel bei Anwendung eines 1,5% Natrium phosphat enthaltenden Gelatineblocks eine augenfällige. Denn sind die Krümmungen, welche dieses Salz bei der *Lupinus*-Wurzel hervorgerufen hat, auf chemotropische Reize zurückzuführen, und besitzt die *Lupinus*-Wurzel, wie dies aus dem Versuch mit 0,28% dieses Salzes hervorging, ein Anpassungsvermögen, so war zu erwarten, daß bei Darbietung dieses Salzes in einer für die Wurzel unzuträglichen Konzentration, eine Abwendung

[1]) Newcombe and Rhodes: Chemotropism of roots, The Botanical Gazette 1904, Vol. XXXVII, No. 1, S. 23—35.

[2]) Rothert, Beobachtungen und Betrachtungen über taktische Reizerscheinungen, Flora 1901. 88:409.

[3]) Pfeffer, l. c. S. 584.
Stahl, Zur Biologie der Myxomyceten, Bot. Ztg. 1884. S. 145.

derselben, also eine negative chemotropische Krümmung stattfinden werde. Sonst konnte die durch Natriumphosphat hervorgerufene Krümmung eher oder zumindest ebensogut eine traumatotropische oder eine osmotropische gewesen sein. Daß die durch dieses Salz hervorgerufene Krümmung aber eine chemotropische gewesen ist, schließen Newcombe und Rhodes aus dem Umstande, daß bei Anwendung eines 0,01 % Kupferacetat enthaltenden Gelatineblocks, eine Abwendung der gut gewachsenen Wurzeln von dem dieses giftige Salz enthaltenden Block stattgefunden hat, sodaß diese Krümmung als eine negativchemotropische anzusprechen sei. Wurde bei den Versuchen das Natriumphosphat durch andere Nährsalze, wie Ammonitrat, Kalisalpeter, Kalziumnitrat und Magnesiumsulfat ersetzt, so wandten sich die Wurzeln von dem diese Salze enthaltenden Block in höherem oder geringerem Maße ab. Die Wurzeln von *Cucurbita Pepo* verhielten sich allen diesen Salzen gegenüber dagegen völlig indifferent.

Newcombe und Rhodes schließen aus den vorerwähnten Resultaten, daß die Wurzel von *Lupinus albus* gegen chemische Reize empfindlich zu sein scheine, daß das Natriumphosphat eine positive chemotropische Krümmung derselben hervorrufe, während die Abwendung der Wurzel von salpetersaurem Ammon, salpetersaurem Kali und salpetersaurem Kalk und ebenso von schwefelsaurer Magnesia ebensogut als chemotropisch wie als traumatotropisch angesehen werden könne. Die anziehende Wirkung bei Anwendung von Natriumphosphat dürfte nach Ansicht dieser Forscher dem PO_4-Jon[1]) zuzuschreiben sein.

Die Versuchsanordnung der beiden letztgenannten Autoren gibt zu großen Bedenken Veranlassung und schließt, wie ich mich überzeugen konnte, bedeutende Fehlerquellen ein, sodaß nach meiner Ansicht die Resultate, welche Newcombe und Rhodes erhielten, einen sicheren Schluß auf die wahre Ursache der eingetretenen Krümmungen der Wurzel und auf die Ursache des gänzlichen Ausbleibens derselben bei einzelnen Salzen, insbesondere aber bei der Wurzel von *Cucurbita Pepo* nicht zulassen. Der Umstand, daß die Versuchsverhältnisse den natürlichen Wachstumsbedingungen nicht im entferntesten ähnlich sind, ließ berechtigte Zweifel darüber aufkommen, ob, angenommen, daß die durch Newcombe und Rhodes festgestellten Krümmungen als chemotropische Reizerscheinungen anzusehen sind, die Wurzel auch in der Ackererde oder wenigstens unter annähernd ähnlichen Verhältnissen sich ebenso wie zwischen zwei Gelatineblöcken verhalten werde. Ein prinzipieller Unterschied liegt nämlich darin, daß die Wurzel zwischen den Gelatineblöcken wegen Mangels an Sauerstoff, der ihr in der gut durch-

[1]) Stange, Bot. Ztg. 1890, 48, 124.
Buller, Annals of Botany 1900. 14, 558.

lüfteten Ackererde allseits zur Verfügung steht, positive aerotropische Krümmungen hat ausführen können, zumindest aber unter dem Einflusse dieses Reizes stehen mußte, was sehr wesentliche Fehlerquellen verursachen konnte. Andererseits gab der Widerstand, den die Oberfläche des Gelatineblocks der eindringenden Wurzel entgegensetzte, zu beträchtlichen Störungen Veranlassung. Die Hauptfehlerquelle konnte aber darin liegen, daß von dem einen chemischen Stoff enthaltenden Gelatineblock nach dem andern nur destilliertes Wasser enthaltenden (und beide Blöcke lagen dicht aneinander), ein Hinüberdiffundieren stattfand, sodaß, da diese Diffusion zweifelsohne rascher als das Wachstum der Wurzeln stattfinden mußte, feinere Reizerscheinungen für die Beobachtung gänzlich verloren gehen konnten. Es war ferner nicht außer acht zu lassen, daß zwei verschiedene Wirkungen auseinander zu halten sind, nämlich wirklich positive oder negative chemotropische Reizkrümmungen und anderseits Krümmungen, die ausschließlich der Schädigung der Wurzel zuzuschreiben sind. Die Bedingungen für das Zustandekommen solcher Schädigungen waren vorhanden; denn die Wurzel war bei der Versuchsanordnung von Newcombe und Rhodes einseitig in ständiger Berührung mit dem Gelatineblock, der von dem untersuchten Stoff Mengen enthielt, die einerseits in dem gleichen Volumen-Erdboden in der Natur kaum anzutreffen sind, anderseits aber ausreichend sind, um die Wurzel empfindlich zu schädigen und deren Wachstum wenigstens einseitig zu verzögern oder gänzlich aufzuheben. Ein Analogon hierfür bietet ja das von Molisch[1]) festgestellte Verhalten der Wurzel gegenüber schädlichen Gasen. Schließlich mag auch noch darauf hingewiesen werden, daß auch die osmotischen Wirkungen nicht ausgeschlossen werden konnten. Bekanntlich kann nämlich auch die osmotropische Reizung Krümmungsbewegungen hervorrufen, und da diese nicht von der chemischen Qualität, sondern von der osmotischen Wirkung abhängt, so muß ein jeder Körper nach Maßgabe seiner osmotischen Leistung wirken. Mit Zunahme der Konzentration wird die osmotische Wirkung gesteigert, und sofern durch diese eine tropistische Reizung bewirkt wird, liegt eine osmotropische Reaktion vor, die, da sie gleichzeitig mit der chemotropischen auftreten kann, von dieser streng zu scheiden ist. Newcombe und Rhodes waren sich dessen sehr wohl bewußt, daß bei ihrer Versuchsanordnung alle Vorbedingungen für das Zustandekommen osmotropischer Reizerscheinungen vorhanden waren und aus diesem Grunde haben sie auch in dieser Richtung Untersuchungen angestellt.

Um nun die Frage, worin der Reizanlaß bei der Versuchsanordnung von Newcombe und Rhodes besteht, mit Sicherheit zu beantworten, und um festzustellen, ob und inwiefern die Pflanzenwurzeln ein Anpassungsvermögen an ihre Ernährungs-

[1]) Molisch, 1884. l. c.

bedingungen besitzen und chemotropisch reizbar sind, unternahm ich es, eine Reihe von Versuchen über den Chemotropismus der Wurzel anzustellen.

Ich zog in den Bereich meiner Untersuchungen die Wurzeln der Keimlinge von

Lupinus albus — *Genisteae*,
Vicia faba, *Vicia villosa*, *Ervum Lens*, *Pisum sativum*, *Cicer arietinum* — *Vicicae*,
Phaseolus vulgaris — *Phaseoleae*,
Lepidium sativum, *Raphanus sativus*, *Raphanus olaiferus*, *Brassica napus* — *Cruciferae*,
Cucurbita Pepo — *Cucurbitaceae*,
Helianthus annuus — *Compositae*
Zea Mays — *Gramineae*

und untersuchte deren Verhalten gegenüber einer großen Anzahl von chemischen Stoffen unter Anwendung nachstehend beschriebener Methoden:

II. Methodisches.

Die Methode, nach welcher ich meine ersten Versuche anstellte, war der von Newcombe und Rhodes angewandten ähnlich.

Zwischen zwei Gelatineblöcken, bereitet aus 6 %iger möglichst reiner Gelatine mit destilliertem Wasser, von denen der eine das zu untersuchende Salz enthielt und welche Blöcke, um heliotropische Reizerscheinungen auszuschließen in einer dunklen Dampfkammer dicht nebeneinander gestellt wurden, wurden in einer Reihe in feuchtem Sägemehl vertikal erwachsende Keimlinge von *Lupinus albus* oder von den anderen vorerwähnten Pflanzen derart angeordnet, daß die Wurzeln von beiden Seiten mit den besagten Blöcken in Berührung standen, die Kotyledonen aber frei hervorragten. Dies wurde dadurch erreicht, daß die Wurzeln durch in dünne Korkplatten gebohrte Löcher hindurchgesteckt wurden. Die Korkplatten ruhten auf den beiden nebeneinanderstehenden Blöcken.

Fig. 1 der umstehenden Zeichnung stellt einen senkrechten Schnitt durch die Gesamtanordnung dar, Fig. 2 dagegen ist ein senkrechter Schnitt durch die Gelatineblöcke mit der darauf ruhenden Korkplatte und einem Lupinuskeimling in seiner Lage bei der Versuchsanordnung, während Fig. 3 eine photographische Aufnahme der Anordnung, von welcher Fig. 2 einen senkrechten Schnitt veranschaulicht, darstellt.

In einer teilweise mit Wasser gefüllten Porzellanschale a wurde auf einen Untersatz b eine Glasplatte c gelegt und auf diese die beiden aus 6 % iger Gelatine mit destilliertem Wasser bereiteten Gelatineblöcke d, d gebracht. Zur Herstellung der Gelatineblöcke bediente ich mich parallelepipedischer Glasgefäße,

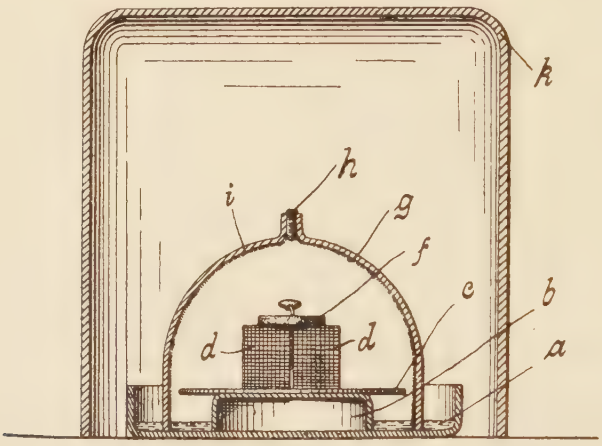


Fig. 1.

etwa 12 cm lang, 5 cm breit und 6 cm hoch. In destilliertem Wasser und in der Lösung eines Salzes in destilliertem Wasser in der Wärme aufgelöste Gelatine wurde in diese durchschnittlich 250 ccm fassenden Gefäße gegossen.

Nach dem Erstarren konnte der entstandene Block mit Leichtigkeit aus dem Glasgefäß entfernt werden, nachdem die Gelatine mittelst eines flachen Messers; welches dicht an den

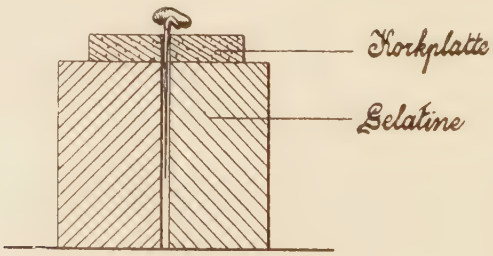


Fig. 2.

Wandungen des Glasgefäßes eingestochen wurde, von den Glaswänden losgelöst worden ist. Zum Befestigen der Keimlinge zwischen den beiden Gelatineblöcken dienten durchbohrte Korkplatten f. Durch die in einer geraden Linie in Abständen von ca. 2 cm angeordneten Löcher wurden die Wurzeln so durchgesteckt, daß die Kotyledonen auf der Oberseite der Korkplatten

ruhten. Die beiden Blöcke wurden hierauf so dicht aneinander geschoben, daß sie die Wurzeln von beiden Seiten berührten; durch einen gelinden Druck gelingt es, die stark adhäsiven Seitenwände der Blöcke so dicht aneinander zu bringen, daß sie zusammenhalten. Über diese Anordnung wurde eine mit Filtrierpapier g ausgekleidete und einem Wattepfropfen h verschlossene Glasglocke i und über das Ganze ein oben geschlossenes Blech- oder Pappgefäß k gestürzt und die Gesamtanordnung bei einer Durchschnittstemperatur von 18—21° 24 Stunden lang stehen gelassen und hierauf nach Entfernung des Gefäßes k und der Glocke i untersucht, indem die Blöcke langsam auseinander geschoben wurden.

Es wurde dabei die Beobachtung gemacht, daß je nach Art und Menge des in einem dieser Blöcke enthaltenen Salzes die Wurzeln mehr oder minder nach der einen oder der anderen Seite gekrümmt und in einzelnen Fällen in den salzhaltigen oder in den salzfreien Gelatineblock eingewachsen waren. Gegenüber einzelnen Salzen verhielten sich die Wurzeln indifferent oder, falls spezifische Gifte angewandt wurden, starben die Wurzeln bei entsprechend hoher Konzentration der Gifte, nach einigen Stunden ab.

Fig. 3.

Um den Widerstand, welchen die Oberfläche des Gelatineblocks der eindringenden Wurzelspitze entgegensetzte, zu verringern, bereitete ich Blöcke aus 4- und 3%iger Gelatine.

Da diese Methode die in der Einleitung erwähnten Fehlerquellen enthielt bezw. enthalten konnte und da ich mich am augenfälligsten bei Anwendung von Farbstofflösungen überzeugte, daß sehr rasch ein Hinüberdiffundieren des in dem einen Block enthaltenden Stoffes nach dem andern stattfand, habe ich Versuchsbedingungen zu schaffen gesucht, welche den natürlichen Wachstumsverhältnissen ähnlicher sind, da es mir sehr bald klar wurde, daß mittels dieser Methode, welche ich unten mit „Methode I“ bezeichnen will, einwandsfreie Resultate nicht zu erzielen sind. Veranlassung hierzu gaben in erster Linie die durch Gifte hervorgerufenen Krümmungen, die sehr bald als Schädigungkrümmungen erkannt wurden, und als deren Kriterium das nichtnormale Wachstum der Wurzeln sich erwies, von denen etwa 2500 einer Messung unterzogen worden sind.

Da eine Anzahl nicht giftiger Substanzen schon in gelinder Konzentration ähnliche Krümmungen wie Gifte hervorriefen, war ein sicherer Schluß, ob in beiden Fällen positiver Chemotropis-

mus, eine Darwinsche Krümmung, eine Schädigungskrümmung, Traumatotropismus oder Osmotropismus vorlag, nicht zu ziehen, zumal die Wurzel während der gesamten Versuchsdauer, einseitig mit Stoffen in Berührung stand, welche befähigt waren, eine jede der vorerwähnten Erscheinungen einzeln oder gemeinsam hervorzurufen.

Die von mir gewählte, unten mit „Methode II“ bezeichnete Versuchsanordnung war von der ersten prinzipiell schon darin verschieden, daß die Wurzel anfangs nicht in direkter Berührung mit dem untersuchten Stoff stand. Zu diesem Zwecke ging ich wie folgt vor:

Runde Glasschalen von 15 cm lichter Weite und 12 cm Höhe wurden mit einer Lösung von 3 % Gelatine in destilliertem Wasser ausgegossen. Nach dem Erstarren wurde genau in der Mitte ein etwa 20 ccm Flüssigkeit fassendes Loch ausgestochen. In dieses wurde der zu prüfende Stoff in wässriger Lösung, oder,

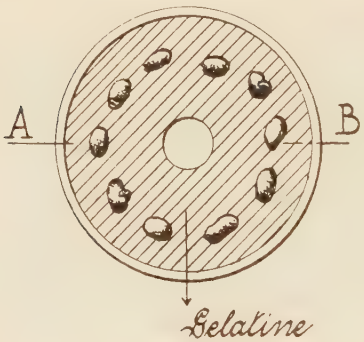


Fig. 4.

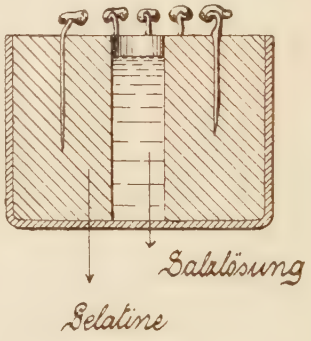


Fig. 5.

falls derselbe schwer löslich war, in destilliertem Wasser suspendiert eingefüllt. Ausgesuchte, in Sägemehl gerade erwachsene *Lupinus*-Keimlinge von einer Länge von 15—40 mm wurden nun in verschiedener Entfernung (5—50 mm) von dem mittleren Loch vorsichtig gerade in die Gelatine hineingestoßen, was ohne Schädigung der Wurzel leicht gelingt, und das Ganze wurde in einer dunklen Dampfkammer während 24—48 Stunden gehalten. Vergleichende Versuche in Wasser und in einem dampfgesättigten Raume zeigten, daß die Lupine sich in diesem Medium durchaus normal verhält und gerade weiterwächst. Der durch die durchsichtige Gelatine langsam hindurchdiffundierende Stoff ermöglicht bei dieser Versuchsanordnung seinen richtenden Reiz auf die Wurzel in deutlichster Weise festzustellen; denn andere Reizerscheinungen und insbesondere die Schädigungskrümmungen sind von vornherein dadurch ausgeschlossen worden, daß die Wurzeln mit dem jeweilig untersuchten Stoff zunächst nicht in direkter Berührung standen.

Die Fig. 4, 5, 6 und 7 und die als Fig. 8 bezeichnete photographische Aufnahme veranschaulichen diese Versuchsanord-

nung und zwar Fig. 4 von oben, Fig. 8 zeigt die Gesamtansicht, Fig. 5 ist ein Schnitt nach Linie A—B der Fig. 4, während Fig. 6 und 7 gleiche Schnitte veranschaulichen und zwar Fig. 6 bei eingetretener positiver und Fig. 7 bei negativer chemotropischer Krümmung. Fig. 9 und 10 zeigen dieselbe Versuchsanordnung bei Anwendung eines parallelepipedischen Glasgefäßes, in welchem Falle anstelle des zentralen Loches in der Mitte ein schmaler Kanal o in der Gelatine ausgestochen und mit der zu prüfenden Salzlösung gefüllt wurde.

Um festzustellen, daß die eingetretenen positiven Krümmungen nicht durch positiven Aerotropismus hervorgerufen wurden, welcher da die Wurzeln in der Gelatine unter Luftausschluß zu wachsen gezwungen waren, erklärlich wäre, habe ich eine Reihe von Kontrollversuchen in der Weise ausgeführt, daß ich ohne in das zur Aufnahme der Salzlösung bestimmte Loch etwas einzufüllen, die Wurzeln 48 Stunden lang in der

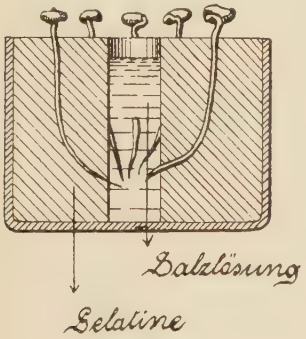


Fig. 6.

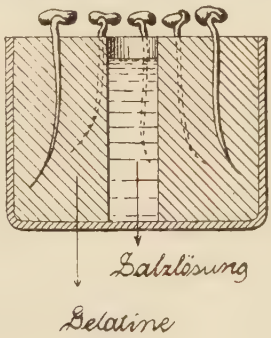


Fig. 7.

Gelatine bei der Versuchsanordnung gemäß Fig. 4 wachsen ließ. 60 auf diese Weise untersuchte Wurzeln wuchsen fast gerade weiter und betrug die Wachstumszunahme durchschnittlich 42 mm. Somit konnte der Aerotropismus ebenso wie der Traumatotropismus bei dieser Methode als ausgeschlossen angesehen werden.

Eine Modifikation dieser Methode bestand in Folgendem:

In eine runde Glasschale von den oben angegebenen Dimensionen wurde eine andere im Durchmesser um 5 cm kleinere gestürzt und der zwischen beiden entstandene ringförmige Raum mit einer 3%igen Lösung von Gelatine in destilliertem Wasser, welches auch das zu untersuchende Salz enthielt, ausgegossen. Nach dem Erstarren wurde die mittlere Schale entfernt und der durch dieselbe eingenommene nunmehr freie Raum mit chemisch reinem mit destilliertem Wasser zu einer knetbaren Masse verarbeiteten Sand gefüllt und in diesen vorsichtig *Lupinus*-Keimlinge eingestochen, sodaß die Diffusion von der Gelatine nach dem Sand stattfand. Diese Versuchsanordnung ist durch Fig. 11

in Oberansicht veranschaulicht; Fig. 12 zeigt dieselbe Versuchsanordnung bei Anwendung eines parallelepipedischen Gefäßes, während die durch Fig. 13 und 14 veranschaulichten Versuchsanordnungen sich darin von den eben besprochenen unterscheiden, daß die Wurzeln in der dreiprozentigen nur mit destilliertem Wasser bereiteten Gelatine sich befanden, während der Sand mit der Lösung eines Salzes in destilliertem Wasser befeuchtet war, sodaß in diesen Fällen die Diffussion von dem Sand nach der Gelatine stattfinden mußte.

Fig. 8.

Das Verhalten der in der Gelatine wachsenden Wurzeln bei der Anordnung gemäß Fig. 4 erwies sich in allen von mir untersuchten Fällen gegenüber denselben chemischen Stoffen als durch aus identisch mit dem Verhalten der Wurzeln bei den in den Fig. 9 — 14 veranschaulichten Methoden, stimmte dagegen mit dem Verhalten der Wurzel nach der Methode von Newcombe und Rhodes (Fig. 1, 2 und 3) nicht überein. Am augenfälligsten trat dies bei Anwendung von typisch giftigen Substanzen, wie Kupfer-, Blei-, Zinksalzen u. dergl. hervor. Während nämlich diese Salze, nach der Methode von Newcombe und Rhodes der Wurzel dar-

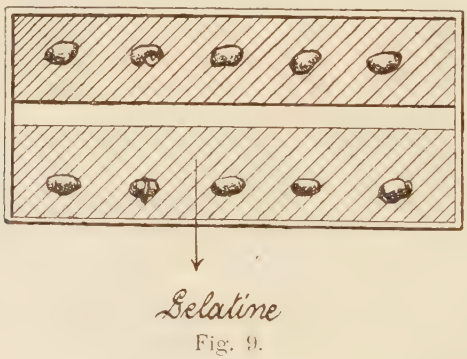


Fig. 9.

geboten, sehr starke, später als Folge einer Schädigung erkannte positive Krümmungen hervorriefen, also anscheinend positiv chemotropisch wirkten, trat bereits bei Anwendung minimaler Mengen dieser Stoffe die in Fig. 7 veranschaulichte Abwendung der Wurzeln ein, ein Verhalten, welches bei Annahme einer mit der Krümmung verfolgten Zweckmäßigkeit durchaus verständlich ist. Vermittels dieser Methode konnte deshalb mit Sicherheit eine positive oder negative chemotropische Reizwirkung festgestellt werden. Selbst die bei der Methode von Newcombe

und Rhodes sich indifferent verhaltende Wurzel der *Cucurbita Pepo* erwies sich durch einige Salze chemotropisch reizbar.

Die bei dieser Methode vorhandenen Wachstumsbedingungen, abgesehen von den Fällen, in welchen als Wachstumsboden Gelatine angewendet wurde, waren den natürlichen Verhältnissen durchaus ähnlich. In einiger Entfernung von der Wurzel wurde nämlich derselben, wie dies in der Ackererde der Fall ist, ein chemischer Stoff dargeboten; war dieser der Wurzel zuträglich und nützlich, so fand ein Nachgehen der Wurzel statt, welches sich in einer in Richtung des dargebotenen Stoffes ausgeführten Krümmung dokumentierte. War dieser Stoff giftig, so fand eine Krümmung in entgegengesetzter Richtung statt; die Wurzel wandte sich also von der ihr drohenden Gefahr ab.

Fig. 10.

Es ist, wie aus vorstehendem hervorgeht, nicht einzusehen, weshalb sich die Wurzel in der Ackererde anders verhalten sollte, nachdem an etwa 6000 Lupinenwurzeln und je etwa 300 Wurzeln von *Vicia faba*, *Ervum*, *Pisum sativum*, *Cicer arietinum*, *Phaseolus vulgaris*, *Zea Mays*, *Cucurbita Pepo* und *Helianthus annus* festgestellt wurde, daß sie durch chemische Stoffe in spezifischer Weise angelockt oder abgestoßen werden, nachdem also mit einem Worte festgestellt werden konnte, daß die Wurzeln der obenerwähnten Keimlinge durch eine Reihe von Stoffen positiv, durch eine andere Reihe von Stoffen dagegen negativ-chemotropisch gereizt werden können. Allerdings gab es eine Reihe von Stoffen, denen gegenüber sich die Wurzeln völlig indifferent verhielten. Es waren dies aber mit geringer Ausnahme Körper, die sich in der Natur nicht vorfinden, und auf die die Wurzel in der Natur auch nicht stoßen kann.

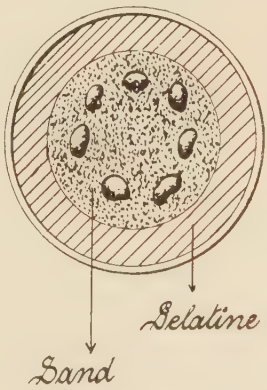


Fig. 11.

Wegen ihrer zarten Beschaffenheit eigneten sich für die Versuche nach dieser Methode die Wurzeln von *Vicia villosa*, *Lepidium sativum*, *Raphanus sativus*, *Raphanus olaiferus* und *Brassica napus* nicht. Es war nicht möglich, die von Natur aus äußerst dünnen Wurzeln der Keimlinge dieser Pflanzen, selbst

in vorher in Gelatine gebohrte Löcher gerade und ohne die Wurzel zu schädigen, einzustechen.

Bei denjenigen Versuchen, bei denen Gelatine als Nährboden diente, war bei der Durchsichtigkeit dieses Nährsubstrates die Feststellung der Art der Krümmung und der Krümmungsrichtung ohne weiteres möglich. Einige Schwierigkeiten bot die Beobachtung im Sande. Ich verfuhr hierbei in zweierlei Weise:

Einmal wusch ich, während die Kotyledonen in ihrer Lage festgehalten wurden, mittels eines Wasserstrahles den Sand vorsichtig fort und legte die Wurzeln bloß, sodaß festgestellt werden konnte, ob und in welcher Richtung eine Krümmung erfolgte; das andere Mal wurden die Kotyledonen erfaßt, der Sand mittels eines Spatens, Glasstabes oder dergl. etwas aufgelockert und die

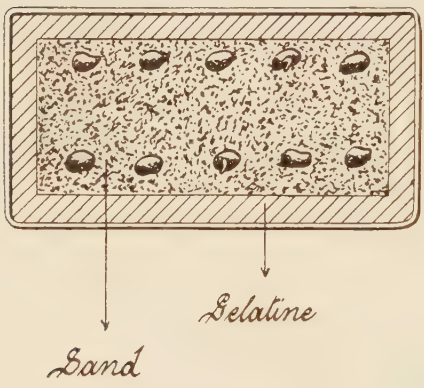


Fig. 12.

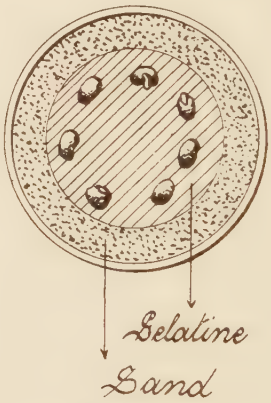


Fig. 13.

Wurzel vorsichtig herausgezogen. Bei einiger Übung gelingt es leicht, die Wurzel so herauszuziehen, daß ihre Lage im Sande, ebenso ihre Wachstumsrichtung erkannt werden können.

Unter Anwendung von Sand als Nährboden bediente ich mich außerdem noch einer anderen, von Kny[1]) angegebenen Methode, welche ich, sofern auf dieselbe später Bezug genommen wird, mit „Methode III" bezeichnen will. Diese bestand in folgendem:

Auf einer Glasplatte wurde eine etwa 3—4 mm starke, feuchte Sandschicht ausgebreitet. Dies gelingt sehr leicht, wenn man auf die Glasplatte chemisch reinen, mit destilliertem Wasser zu einem nicht allzu dünnen Brei angerührten Sand bringt und denselben durch Hin- und Herbewegen der Glasplatte ausbreitet. Nach dem Abtropfen der überschüssigen Feuchtigkeit bleibt die Sandschicht auf der Glasplatte, selbst wenn dieselbe senkrecht aufgestellt wird, haften. Hierauf wurde ungefähr in der Mitte

[1]) Der Einfluß des Lichtes auf das Wachstum der Bodenwurzeln. (Jahrb. f. wissensch. Bot., 38 (1902) p. 434 ff.)

vermittels eines Glas- oder noch besser Holzstabes ein geradliniger etwa 2—3 mm weiter Kanal gezogen, sodaß die Sandfläche in zwei annähernd gleiche Felder geteilt wurde. Wie dies nun aus Fig. 15, welche diese Versuchsanordnung veranschaulicht, hervorgeht, wurden *Lupinus*keimlinge mittels eines um die Platte herumgreifenden Gummibandes m an der Platte so befestigt, daß die Kotyledonen über der Platte frei hervorragten, während die ausgesuchte gerade Wurzel in dem Kanal o zu liegen kam. Für jede Wurzel wurde eine Platte verwendet. Die beiden Sandfelder berührten die Wurzel beiderseitig kaum. Auf das eine der Felder wurde nun das zu untersuchende Salz

Fig. 14.

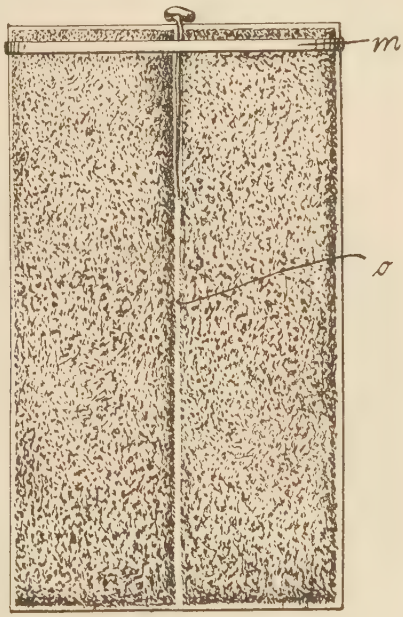


Fig. 15.

gebracht und zwar entweder in fester Form in verschiedener Entfernung von dem Kanal und längs desselben in den feuchten Sand eingedrückt oder aber wurde das eine Sandfeld mit einigen Tropfen der Lösung des Salzes in destilliertem Wasser befeuchtet, und die Platte in einer dunklen Dampfkammer während 24—72 Stunden gehalten. Die Resultate waren meist die nämlichen wie bei „Methode II". Untersucht wurden nach dieser Methode Keimlinge von *Lupinus, Lepidium* und *Raphanus.*

Um zu verhüten, daß zwischen den beiden Sandfeldern ein Flüssigkeitsaustausch und ein Hinüberdiffundieren stattfindet, wurde der Kanal o stets vor dem Befestigen des Keimlings mit Fließpapier sorgfältig abgetrocknet und die der hier freigelegten Glasplatte anhaftende Wasserschicht entfernt, sodaß mangels einer

Berührung und Kommunikation der dargebotene Stoff nur einseitig wirken konnte.

Außer diesen Methoden stellte ich noch Untersuchungen am Klinostaten und solche mit geköpften Wurzeln an. Die Versuche mit letzteren verfolgten den Zweck, festzustellen, ob bei Entfernung der Wurzelhaube und der Wurzelspitze noch eine Reizaufnahme stattfindet, und ob die chemotropische Reizaufnahme, wie dies beispielsweise für die Reizaufnahme der Schwerkraft der Fall ist, mit der Köpfung aufhört.

Ich schreite nunmehr zu der Beschreibung der einzelnen Versuche und bemerke, daß ich sämtliche nachstehend angeführten Salze, deren chemische Reinheit mir fraglich erschien, untersuchte. Sämtliche, mit Ausnahme des Eisen-, Aluminium- und Kobalt-Nitrats, die zum Teil zersetzt waren, haben sich als chemisch rein erwiesen.

III. Chemotropischer Einfluß einzelner Salze.

A. Versuche mit der Wurzel von *Lupinus albus*.

Sämtliche nach der Methode von Newcombe und Rhodes, von mir als „Methode I“ bezeichnet, untersuchten Wurzeln sind einer Messung unterzogen worden, da mir der Verlauf des Längenwachstums das beste Kriterium hierfür zu sein schien, ob bei dieser Methode eine Schädigung der Wurzel eintritt oder nicht. Nur in den interessantesten Fällen führe ich diese Messungsresultate, tabellarisch zusammengestellt, an. Die Bezeichnungen der einzelnen Kolonnen mit den Buchstaben a, k, e, z bedeuten in denselben folgendes:

a = Länge der Wurzel bei Versuchsbeginn (in mm);
k = Länge, bei welcher eine Krümmung eintrat (in mm).
e = Länge der Wurzel bei Versuchsbeendigung (in mm).
z = Zuwachs während der Versuchsdauer (in mm).

Die Versuchsdauer betrug, sofern nicht anderes angegeben, 24 Stunden.

Zum Zwecke der Ermöglichung eines Vergleichs des Wachstumsverlaufs gebe ich in den nachstehenden Tabellen einige von mir ermittelte Zahlen an, aus denen der Wachstumsverlauf der *Lupinus*-Wurzel in einer Wasserkultur, in einer Dampfkammer und zwischen zwei aus einer erstarrten 6 %igen Lösung von Gelatine in destilliertem Wasser bereiteten Blöcken zu ersehen ist.

Vergleicht man diese Tabellen, so ergibt sich, daß das Wachstum der Lupinenwurzel zwischen zwei Gelatineblöcken nicht schwächer war als in einer Wasserkultur oder Dampfkammer, da die Wachstumszunahme nach 24 Stunden durchschnittlich im ersteren Falle 19,5, in beiden letzteren Fällen 19,4 bezw. 21,5 mm betrug.

Wurzel Nr.	Wasserkultur			Dampfkammer		
	a	e	z	a	e	z
1	44	61	17	40	62	22
2	44	65	21	40	61	21
3	41	62	21	38	62	24
4	41	60	19	33	54	21
5	36	54	18	33	51	18
6	34	54	20	44	66	22
7	25	45	20	26	47	21
8	28	47	19	27	48	21
9	19	40	21	18	38	20
10	17	36	19	17	37	20
11	35	53	18	38	63	25
12	22	42	20	23	45	22
Im Durchschnitt:	32,1	51,5	19,4	31,4	52,8	21,4

Wurzel No.	Zwischen zwei Gelatineblöcken:		
	a	e	z
1	19	38	19
2	23	41	18
3	30	51	21
4	27	49	22
5	17	37	20
6	22	40	18
7	25	43	18
8	40	59	19
9	36	60	24
10	32	51	19
11	30	50	20
12	18	35	17
Im Durchschnitt:	26,5	46,1	19,5

1. Ammoniumsalze.

Von den Ammoniumsalzen untersuchte ich die folgenden:

Chlorammonium, Ammoniumnitrat, Ammoniumsulfat, Ammoniumcarbonat, Ammoniumphosphat, Ammoniumvanadat, ferner ameisensaures, essigsaures, weinsaures, zitronensaures, oxalsaures und harnsaures Ammon.

Von diesen Salzen können nur das phosphorsaure Ammon, unter Umständen auch das Ammonnitrat, seines hohen Stickstoffgehaltes wegen, eventl. auch schwefelsaures Ammon, dieses letztere aber in geringerem Grade, als Nährstoff angesehen werden, während die übrigen, etwa Chlorammonium, kohlensaures und

harnsaures Ammon ausgenommen, als mehr oder minder starke Gifte anzusehen sind.

Nach den Versuchen von Miyoshi[1]) waren Ammoniaksalze — er untersuchte die Wirkung des phosphorsauren Ammons, des Ammonnitrats, Chlorammons, des weinsauren, apfelsauren und kohlensauren Ammons — mit Ausnahme des letzteren, welches stark repulsiv wirkte, sehr gute Reizstoffe für *Penicillum glaucum*, *Aspergillus niger*, *Mucor mucedo*, *Saprolegnia ferax* und einige andere Pilze, während z. B. Ammonphosphat auf die Pollenschläuche gar nicht positiv chemotropisch wirkte.

a) Chlorammonium NH_4Cl.

Die Wirkung dieses Salzes untersuchte ich zunächst nach „Methode I" und wandte nacheinander Lösungen von 0,01 %, 0,1 %, 0,2 %, 0,5 %, 1 %, 2 % und 5 % an.

Gegenüber einer 0,01 %, 0,1 %, 0,2 % und gegenüber einer 0,5 %igen Lösung verhielten sich 60 *Lupinus*-Wurzeln völlig indifferent. Das Wachstum der Wurzeln war gut und normal. Enthielt der eine Gelatineblock eine einprozentige Lösung dieses Salzes, so waren von 12 untersuchten Wurzeln 4 schwach gegen diesen Block gekrümmt, während sich 8 indifferent verhielten: das Wachstum war schwächer und sank, ohne daß eine merkliche Reaktion eingetreten gewesen wäre, auf ein Minimum bei Anwendung eines dieses Salz in 2 %iger Lösung enthaltenden Blocks.

Wie aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich, ist das Wachstum der Wurzeln desto schwächer gewesen, je stärker die

Konzentration	0,1 %			0,5 %			1 %			2 %		
Wurzel-Nr.	a	e	z	a	e	z	a	e	z	a	e	z
1	31	49	18	30	42	12	22	27	5	25	27	2
2	33	50	17	34	48	14	22	25	3	28	31	3
3	33	51	18	33	45	12	21	33	12	27	30	3
4	30	55	25	27	40	13	24	30	6	22	22	0
5	29	45	16	29	40	11	26	30	4	28	30	2
6	23	41	18	31	42	11	26	29	3	29	30	1
7	30	51	21	29	41	12	30	38	8	22	24	2
8	36	50	14	28	42	14	29	36	7	20	20	0
9	34	52	18	36	47	11	29	34	5	26	28	2
10	38	56	18	39	49	10	31	37	6	30	32	2
11	30	46	16	35	47	12	32	41	9	30	33	3
12	27	42	15	32	43	11	28	36	8	28	29	1
Im Durchschnitt	31,1	49	17,8	31,9	43,8	11,9	26,6	33	6,3	26,2	28	1,7

Konzentration war, sodaß bereits eine 1 %ige Lösung dieses Salzes die Wurzel der Lupine in hohem Grade schädigt. Eine

[1]) Miyoshi: Bot. Zeitung 1894 und Flora 1894 l. c.

5 %ige Lösung tötete die Wurzeln bereits nach wenigen Stunden ab, ohne daß vorher ein merkliches Längenwachstum stattgefunden hätte. Aus diesen Resultaten kann somit geschlossen werden, daß das Chlorammon, nach der Methode von Newcombe und Rhodes angewandt, bei Konzentrationen bis etwa 1 % so gut wie gar keinen Reiz auf die Wurzel der Lupine ausübt, bei höherer Konzentration hingegen die Wurzel in hohem Maße schädigt. In Anbetracht dieses letzteren Umstandes kann aus der Tatsache, daß bei einer Konzentration von 1 % von 12 untersuchten Wurzeln 4 gegen den dieses Salz enthaltenden Block gekrümmt waren, geschlossen werden, daß die Krümmungen der Schädigung der Wurzel durch dieses Salz zuzuschreiben sind.

Die Anwendung dieses Salzes nach „Methode II“ ergab ganz andere Resultate. Es hat sich gezeigt, daß die *Lupinus*-wurzel durch Chlorammon negativ chemotropisch reizbar ist; denn von 18 nach dieser Methode untersuchten Wurzeln waren 12 in einer Entfernung von 1—3 cm von dem eine einprozentige Lösung von Chlorammon enthaltenden, in der Gelatine ausgestochenen Loch wachsende Wurzeln abgewendet, und der Krümmungswinkel war desto größer, je näher die Wurzeln der Salzlösung waren. Vier in einer Entfernung von 4 $^1/_2$ und 5 cm befindliche Wurzeln verhielten sich indifferent, während 2 Wurzeln, welche je $^1/_2$ cm von der Salzlösung entfernt waren, im Gegensatz zu den anderen sehr wenig gewachsen und abgestorben waren. Ich erkläre mir dies dadurch, daß das rasch in die Gelatine eindringende Chlorammon den Tod der zunächst wachsenden Wurzeln herbeigeführt hat, auf die weiter wachsenden hingegen sensitiv wirkte und als schädlicher Stoff eine Abwendung der Wurzeln verursachte. Seine Wirkungssphäre scheint innerhalb einer Kreisfläche zu liegen, deren $r = 3$ cm ist, während der Schwellenwert für dieses Salz nur 0,5 % beträgt, da schwächere Lösungen des Salmiaks keine Krümmungen mehr hervorriefen, wenn sich die Wurzeln von dem mit einer solchen Lösung gefüllten Loch in einer Entfernung von 2—4 cm befanden.

b) Ammoniumnitrat $NH_4\,NO_3$.

Gegenüber in einem Gelatineblock nach „Methode I“ dargebotenen Lösungen dieses Salzes von einer Konzentration von 0,01 % und 0,1 % verhielten sich 28 Lupinenwurzeln völlig indifferent und zeigten ein gutes normales Wachstum. Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes schien nachteilig zu wirken; denn das Wachstum blieb gegenüber dem normalen und gegenüber dem bei Anwendung dieses Salzes in schwächeren Lösungen zurück, wie dies nachstehende Tabelle ergibt. Bei dieser Versuchsreihe waren von 12 Wurzeln 2 gegen diesen, 2 dagegen gegen den lediglich mit destilliertem Wasser bereiteten Gelatineblock gekrümmt, sodaß aus diesem Verhalten der *Lupinus*-Wurzel in Anbetracht der zweifelsohne eingetretenen Schädigung irgend ein Schluß nicht gezogen werden kann.

Konzentration	0,01 %			0,1 %			1 %		
Wurzel-Nr.	a	e	z	a	e	z	a	e	z
1	22	36	14	25	38	13	24	34	10
2	23	35	12	24	36	12	23	28	5
3	25	37	12	26	37	11	24	31	7
4	27	41	14	21	32	11	21	31	10
5	24	36	12	25	36	11	21	28	7
6	22	36	14	25	38	13	25	31	6
7	25	39	14	24	38	14	28	35	7
8	24	39	15	26	39	13	28	38	10
9	26	41	15	22	35	13	25	32	7
10	25	41	16	24	36	12	21	30	9
Im Durchschn.	24,3	38,1	13,8	24,2	36,5	12,3	24	31,8	7,8

Befand sich nach „Methode II“ im Loch eine 1 %ige Lösung von Ammonnitrat, so waren sämtliche in einer Entfernung von 2—5 cm wachsende Wurzeln abgewendet und gut gewachsen. Im ganzen untersuchte ich nach dieser Methode 28 Wurzeln, von denen sich 18 abwandten, 6 abgestorben waren, 4 hingegen sich indifferent verhielten. Da der Tod von 6 Wurzeln zweifelsohne aus demselben Grunde, wie bereits oben erwähnt, erfolgte, so konnte aus vorstehenden Resultaten geschlossen werden, daß auch Ammonitrat repulsiv wirkt. Seine Wirkungssphäre ist der Konzentration direkt proportional.

c) Ammonsulfat $(NH_4)_2SO_4$.

Gegenüber einer 0,1, 0,5, 1 und 2 %igen Lösung dieses Salzes verhielt sich die *Lupinus*-Wurzel indifferent, wenn das Salz in einem Gelatineblock nach „Methode I“ dargeboten wurde. Durch Messungen stellte ich ein normales Wachstum fest. Die Wachstumszunahme betrug bei Anwendung einer 0,1 und einer 1 %igen Lösung (gemessen wurden je 10 Wurzeln) nach 24 Stunden im Durchschnitt 15 bzw. 12 mm, bei einer Lösung von 2 %, 11 mm. Abnormal war die Bildung einer eigenartigen Verdickung der Wurzel, die aber eigentümlicherweise nur bei Anwendung der 0,1 %igen Lösung auftrat.

Von 12 nach „Methode II“ untersuchten und in einer Entfernung von 0,5—4 cm wachsenden Wurzeln waren, wenn die im Loch befindliche Flüssigkeit eine 1 %ige Lösung dieses Salzes war, 10 Wurzeln schwach gegen dieselbe gekrümmt. Befand sich hingegen im Loch eine 0,5 %ige Lösung von schwefelsaurem Ammon, so war der Krümmungswinkel ein stärkerer. In letzterem Falle waren von 12 untersuchten Wurzeln ebenfalls 10 der Lösung zugekrümmt. Schädigungen der Wurzeln, selbst der in einer Entfernung von $^1/_2$ cm wachsenden, konnten nicht festgestellt werden.

Somit übt Ammonsulfat einen positiven chemotropischen Reiz auf die *Lupinus*-Wurzel aus. Daß dieser Reiz bei einer 0,5 %igen

Lösung stärker war, als bei einer 1 %igen, ist vielleicht dadurch zu erklären, daß die Wurzel durch eine 1 %ige Lösung etwas geschädigt wird und letztere deshalb auf dieselbe nicht in so hohem Grade anlockend wirkt, wie eine schwächere, der Wurzel mehr zuträgliche Lösung.

d) Ammoniumkarbonat $(NH_4)_2CO_3$.

Ich untersuchte die Wirkung dieses Salzes in einer 0,5 und einer 1 %igen Lösung. In beiden Fällen waren die Wurzeln gegen den dieses Salz enthaltenden Gelatineblock stark gekrümmt. Von 24 Wurzeln, von denen 12 einem 0,5 % von diesem Salz enthaltenden Gelatineblock anlagen, waren 9 in den Block unter einem Winkel von etwa 70 bis etwa 90° eingewachsen; 3 gegen diesen Block gekrümmt. Bei dem Versuch mit einem Block, der 1 % dieses Salzes enthielt, waren sämtliche Wurzeln unter starken Krümmungen in den Block eingewachsen. Das Wachstum war ein befriedigendes. Die Wachstumszunahme (an 10 Wurzeln gemessen) betrug im Durchschnitt 16 mm bzw. bei Anwendung einer 1 %igen Lösung 14 mm.

Befand sich nach „Methode II" in dem in der Gelatine ausgestochenen Loch eine 0,1, eine 0,5 oder eine 1 %ige Lösung dieses Salzes, so waren sämtliche in der Entfernung von 1—5 cm wachsenden Wurzeln stark gegen die Lösung gekrümmt. Von 20 nach dieser Methode untersuchten Wurzeln, haben 5 in einer Entfernung von 2 und 3 cm wachsenden eine so starke Krümmung ausgeführt, daß sie in die in dem Loch befindliche Flüssigkeit eingedrungen waren. Es ist somit aus diesen Versuchen zu schließen, daß die *Lupinus*-Wurzel durch kohlensaures Ammon stark positiv chemotropisch reizbar ist.

e) Ammoniumphosphat $(NH^4)_2HPO_4$.

Nach „Methode I" untersuchte ich die Wirkung dieses Salzes in Konzentrationen von 0,0001, 0,001, 0,01, 0,1, 0,2, 1, 2, 5 und 10 %.

Gegenüber den Lösungen von 0,0001, 0,001 und ebenso von 0,01 % verhielten sich die Wurzeln völlig indifferent. Für jede Konzentration habe ich das Verhalten von je 10 Wurzeln untersucht. War dagegen der eine der beiden Gelatineblöcke mit einer 0,1 %igen Lösung dieses Salzes hergestellt, so waren von 10 untersuchten Wurzeln, 6 in den Block eingewachsen. Der Krümmungswinkel betrug ca. 50—70 °. Die übrigen 4 Wurzeln waren diesem Block zugewendet. Stieg die Konzentration auf 1, 2 und 5 %, so waren sämtliche untersuchten 320 Wurzeln ausnahmslos nach Ausführung einer starken Krümmung in den Block hineingedrungen. der Krümmungswinkel betrug etwa 90 °. Bei einer Konzentration von 10 % trat ebenfalls eine starke, als Schädigungskrümmung erkannte Reaktion ein, bereits nach einigen Stunden waren aber sämtliche Wurzeln abgestorben. Auch die 5 %ige Lösung dieses Salzes wirkte tötlich: bei dieser trat aber der Tod erst nach etwa 20 Stunden ein. Die durch die 0,1 %ige Lösung dieses

Salzes hervorgerufene Krümmung zeigt die mit Fig. 16 bezeichnete photographische Aufnahme.

Daß bei dieser Methode durch konzentrierte Lösungen eine Schädigung der Wurzel eintritt, ist aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich. Dieselbe zeigt, daß bei einer 1 %igen Lösung die Wachstumszunahme 4,4 mm betrug und auf 1,5 mm sank, wenn die Konzentration auf 2% anstieg. Die an ebenfalls 12 gleichzeitig angesetzten Wurzeln gemessene Wachstumszunahme betrug dagegen, wenn der Gelatineblock 0.01 bzw. 0.1 von diesem Salze enthielt, in derselben Zeit 16 bzw. 10,4 mm.

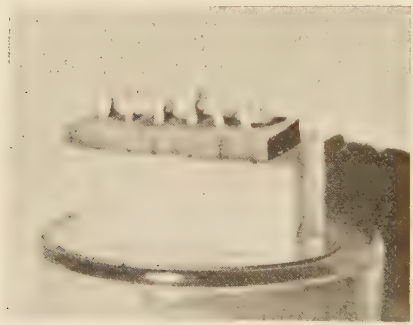


Fig. 16.

Diese Resultate sind insofern lehrreich, als sich aus denselben ergibt, daß die durch Ammonphosphat nach „Methode I“ hervorgerufenen Krümmungen als Schädigungskrümmungen anzusehen sind, welche wahrscheinlich dadurch zustande gekommen sind, daß die Wurzel nur an der dem lediglich mit dem destillierten Wasser bereiteten Block anliegenden Seite intensiv wuchs, ein Wachstum dagegen an der, dem anderen, das Salz enthaltenden Gelatineblock, zugekehrten Seite nicht, bzw. nur in höchst geringem Maße stattfand.

Konzentration	1 %				2 %			
Wurzel-Nr.	a	k	e	z	a	k	e	z
1	16	16	22	6	20	20	22	2
2	15	15	18	3	20	20	21	1
3	18	18	23	5	18	18	20	2
4	18	18	22	4	16	16	17	1
5	20	21	24	4	23	23	25	2
6	17	17	20	3	25	25	27	2
7	25	25	30*	5	23	23	25	2
8	25	25	29	4	16	16	18	2
9	23	23	29	6	26	26	27	1
10	25	25	29	4	22	22	23	1
11	24	24	29	5	25	25	27	2
12	23	23	27	4	20	20	21	1
Im Durchschnitt	20,7	20.8	25,1	4,4	21,1	21,1	22,7	1,5

Unter Anwendung einer 0,5 und einer 1 %igen Lösung dieses Salzes habe ich noch einige Versuche mit dekapitierten Wurzeln angestellt. Nach Abnahme der Wurzelhaube und nach Abnahme von 1, 2 und 3 mm von der Wurzelspitze trat dieselbe Er-

scheinung wie bei den nicht dekapitierten Wurzeln ein; sämtliche untersuchten 40 Wurzeln waren in den das Salz enthaltenden Gelatineblock eingewachsen und gediehen nach Beendigung des Versuches in einer Wasserkultur, zu der Berliner Leitungswasser benutzt wurde, sehr gut. Wurden aber von der Wurzelspitze 4 mm abgehoben, so trat die charakteristische Krümmung nicht mehr ein, dagegen führten die Wurzeln merkwürdige, aus der anliegenden, mit Fig. 17 bezeichneten Photographie ersichtliche seitliche Krümmungen aus, deren Ursache nicht festgestellt werden konnte. Allem Anscheine nach dürften dies Darwinsche Krümmungen sein, welche durch den Wundreiz zustande gekommen sein konnten.

Fig. 17.

Die Untersuchungen nach „Methode II" haben übereinstimmend ergeben, daß die *Lupinus*-Wurzel durch Ammoniumphosphat positiv chemotropisch reizbar ist. Positive Krümmungserscheinungen wurden bereits durch Lösungen hervorgerufen, welche 0,0001 % von diesem Salz enthielten. Stieg die Konzentration, so stieg auch annähernd proportional der Krümmungswinkel. Betrug die Konzentration 5 %, so waren die in einer Entfernung von 1, $1^1/_2$ und 2 cm wachsenden Wurzeln abgestorben, während die $2^1/_2$, 3, 4 und 5 cm entfernten gut gediehen und sehr stark gegen die Salzlösung gekrümmt waren. Genau so verhielten sich dekapitierte Wurzeln, bei denen aber jede Reaktion ausblieb, sobald von der Wurzelspitze mehr als 3 mm entfernt wurden. Wurden etwa 4 mm abgehoben, so wuchsen die Wurzeln nach beliebigen Richtungen des Raumes. Versuche mit einer 5 %igen Lösung töteten die dekapitierten Wurzeln auch auf eine Entfernung von 3 cm ab.

Wurde chemisch reiner Sand in der aus den Figuren 11 und 12 ersichtlichen Weise als Nährboden benutzt oder als Träger für die Salzlösung gemäß den Figuren 13 und 14, so waren die dabei erzielten Resultate die nämlichen, wie die bei Anwendung von reiner Gelatine vorhin besprochenen. Die Krümmungen im Sand waren nur stärker und das Wachstum besser.

Daß Ammonphosphat für die Wurzel von *Lupinus albus* ein gutes Lockmittel ist, stellte sich auch heraus, als ich die Untersuchungen gemäß „Methode III" vornahm. Die mit Fig. 18 bezeichnete photographische Aufnahme zeigt, wie sich eine *Lupinus*-Wurzel gegen das linke, mit einigen Tropfen einer 0,1 %igen Lösung von Ammonphosphat befeuchtete Sandfeld

gekrümmt hat. Um die Krümmung deutlicher zu veranschaulichen, wurde die gekrümmte Wurzelspitze vor der Aufnahme mit Tusche gefärbt. Ähnliche Krümmungen traten auch ein, wenn in das Sandfeld einige Körnchen dieses Salzes, welche sich in dem Wassergehalte des Sandes nach und nach auflösten, eingebettet wurden. Im ganzen untersuchte ich nach dieser Methode 14 Wurzeln, von denen 9 positive Krümmungen ausführten, während 5, allerdings bei Anwendung minimaler Mengen dieses Salzes, sich indifferent verhielten.

f) Ammoniumvanadat $(NH_4)_3VO_4$.

Nach der „Methode I" angewendet, ruft dieses Salz äußerst starke, der Schädigung zuzuschreibende Krümmungen hervor.

Fig. 18.

Eine 0,5 %ige Lösung dieser Verbindung wirkt auf das Wachstum stark hemmend, da die an 12 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme im Durchschnitt kaum 1 mm betrug. Nach der „Methode II" angewendet, trat eine schwache positive Krümmung ein, sodaß dieses Salz in einer Konzentration von 0,1—1 % auf eine Entfernung von $3^1/_2$ cm positiv chemotropisch wirkt.

g) Ameisensaures Ammon $H.COO.NH_4$.

Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes wirkte, nach „Methode I" angewendet, bereits nach wenigen Stunden tötend. Eine 0,1 und ebenso eine 0,01 %ige Lösung hemmten das Wachstum in hohem Grade, ohne eine Reizkrümmung hervorzurufen. An 10 Wurzeln vorgenommene Messungen ergaben, daß bei einer durchschnittlichen Anfangslänge von 30 mm der Wachstumszuwachs bei einer 0,01 %igen Lösung nach 24 Stunden im Durchschnitt nur 7 mm betrug und auf 5 mm sank, wenn die Konzentration auf 0,1 % stieg. Die Wachstumsrichtung war eine fast lotrechte.

Nach der „Methode II“ angewendet, rief dieses Salz in einer Konzentration von 0,01 und 0,1 % den Tod der in einer Entfernung von 1—3 cm wachsenden Wurzeln hervor. 4 Wurzeln, die 4 cm von dem Loch entfernt waren, lebten, haben aber nicht reagiert.

Somit ist diesem Salze bei einer Konzentration von 0,01 und 0,1 % keine chemotropische Reizwirkung zuzuschreiben.

h) Ammonacetat $CH_3.COO.NH_4$.

Dieses Salz wirkt bereits in einer 0,01 %igen Lösung tötend. Der Tod der Wurzeln trat nach einigen Stunden ein, ohne daß ein merkliches Wachstum stattgefunden hat.

Eine ebenso stark konzentrierte Lösung dieses Salzes rief, nach „Methode II“ angewendet, anscheinend eine schwach repulsive Wirkung hervor. Von 12 nach dieser Methode untersuchten und in einer Entfernung von 2—4 cm von der Salzlösung wachsenden Wurzeln waren die derselben zunächst befindlichen 5 Wurzeln tot, 5 etwas weiter wachsende schwach weggekrümmt, während 2 in einer Entfernung von 5 cm, also am weitesten befindliche, nicht reagiert haben.

i) Weinsaures Ammon $C_4H_4O_6.(NH_4)_2$.

Die Wirkung dieses Salzes nach „Methode I“ untersuchte ich in Konzentrationen von 0,01, 0,1 und 1 %. Eine Krümmungserscheinung konnte nicht festgestellt werden, ebensowenig eine merkliche Schädigung. Denn während der Wachstumszuwachs bei Anwendung einer 0,01 und einer 0,1 %igen Lösung, an 24 Wurzeln gemessen, im Durchschnitt 13 mm betrug, war derselbe bei einer 1 %igen Lösung nur um ca. 1 mm geringer.

Nach der „Methode II“ angewendet, rief eine 0,1 %ige Lösung eine schwache positive Krümmung der Wurzel hervor. Von 16 nach dieser Methode untersuchten Wurzeln waren 10 in einer Entfernung von 1—3 cm wachsende deutlich der Salzlösung zugekrümmt, während 6 in einer Entfernung von 3—5 cm befindliche keine Krümmungstendenz zeigten.

Es ist aus diesen Versuchsergebnissen zu schließen, daß die Wurzel unter natürlichen Verhältnissen sich schwachen Lösungen dieses Salzes zuwenden dürfte.

k) Zitronensaures Ammon $C_6H_5O_7(NH_4)_3$.

Eine 0,01, eine 0,1 und eine 1 %ige Lösung dieses Salzes riefen deutliche Krümmungen hervor. Dieselben waren bei den ersten beiden Konzentrationsgraden nur schwach ausgeprägt, während bei Anwendung eines Blocks mit einem Gehalt von 1 % dieses Salzes von 6 Wurzeln, 4 in den Block eingewachsen, 2 gegen denselben deutlich gekrümmt waren. Das Wachstum war ein ziemlich gutes, die an 6 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme betrug durchschnittlich 12 mm.

Wurde den in Gelatine nach „Methode II“ wachsenden Wurzeln eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes dargeboten, so waren sämtliche 8 in einer Entfernung von 1—3 cm befindliche

Wurzeln dieser Lösung zugekrümmt, während 4 entferntere Wurzeln nicht reagierten.

Wenn auch die Wurzel in der Natur auf das zitronensaure Ammon nie stoßen dürfte, so kann angenommen werden, daß sie sich schwachen und in geringer Entfernung befindlichen Lösungen desselben zuwenden dürfte.

l) Ammonoxalat $C_2O_4.(NH_4)_2$.

Gegenüber einer 0,1 und 1 %igen Lösung dieses nach „Methode I" angewandten Salzes verhielt sich die *Lupinus*-Wurzel völlig indifferent. Das Wachstum war normal, die an 6 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme betrug im Durchschnitt 14 mm.

Eine schwache Neigung, sich einer 0,5 %igen Lösung dieses Salzes zuzuwenden, zeigte aber die *Lupinus*-Wurzel, wenn dieses Salz nach „Methode II" derselben dargeboten wurde. Von 12 untersuchten, waren 7 in einer Entfernung von 1—3 cm gewachsene Wurzeln der Salzlösung zugekrümmt, während die übrigen in einer größeren Entfernung befindlichen Wurzeln sich völlig indifferent verhielten.

m) Harnsaures Ammon $C_5H_3(NH_4)N_4O_3$.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber einer 0.01, 0,1, 0.5 und einer 1 %igen Lösung dieses Salzes war ein völlig indifferentes. Das Wachstum war normal, die Wachstumszunahme, welche an 24 Wurzeln gemessen wurde, betrug im Durchschnitt 16 mm, sodaß eine 0,01 %ige Lösung das Wachstum nicht anders beeinflußt wie eine 1 %ige Lösung.

Wurde hingegen eine 1 %ige Lösung des harnsauren Ammons nach „Methode II" der Wurzel dargeboten, so traten stark ausgeprägte Krümmungserscheinungen ein und zwar waren von 16 Wurzeln 10 in einer Entfernung von 1—3 cm wachsende gegen die Lösung dieses Salzes stark gekrümmt, 4 weiter wachsende zeigten ausgeprägte Krümmungsneigung, während sich eine indifferent verhielt und eine, in einer Entfernung von $4^1/_2$ cm befindliche, abgewendet war.

Ein annähernd gleiches Resultat wurde erzielt, als, als Nährboden Sand angewandt wurde. Der aus der den Sand umgebenden Gelatine nach ersterem diffundierende und in einer 0,5 %igen Lösung verwendete Stoff übte ebenfalls eine positive chemotropische Wirkung aus, da von den im Sande befindlichen 12 Wurzeln, 10 der mit diesem Salze beladenen Gelatine zugewendet waren, während sich 2 indifferent verhielten und lotrecht weiter gewachsen waren.

Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß, falls die *Lupinus*-Wurzel in der Natur auf harnsaures Ammon stoßen würde, letzteres auf die Wurzel anlockend wirken dürfte.

2. Natriumsalze.

Von den Natriumsalzen untersuchte ich näher die Wirkung des Natriumhydroxyds, des Kochsalzes, des Natronsalpeters, des

schwefelsauren, des kohlensauren Natriums, des Natriumphosphats und -acetats, des weinsauren Natrons und des weinsauren Natronkalis.

Miyoshi[1]) fand, daß, während Natriumphosphat auf Pilze anlockend wirkte, sowohl Chlornatrium als auch weinsaures Natronkali stark repulsive Wirkungen hervorriefen. Dem Natronphosphat und dem Kochsalz gegenüber ganz ähnlich verhielt sich die *Lupinus*-Wurzel; hingegen war die Wirkung des weinsauren Natronkalis eher eine attraktive.

a) Natriumhydroxyd NaOH.

Selbst bei Anwendung minimaler Mengen dieser Verbindung konnte Gelatineblöcke nicht hergestellt werden. Wurde nämlich die Gelatine in einem durch geringen Zusatz von Natriumhydroxyd alkalisch gemachten destillierten Wasser aufgelöst, so gelang es nicht, die Lösung zum Erstarren zu bringen. Aus diesem Grunde konnte die Wirkung dieses Salzes nur unter Anwendung der „Methode II“ untersucht werden.

Schon eine 0,01%ige Lösung dieses Stoffes rief bei sonst gutem Wachstum repulsive Wirkungen hervor. Von 24 untersuchten Wurzeln wandten sich 21 ab, während 3 in derselben Entfernung von der Salzlösung wachsende nicht reagierten. Wurde die Konzentration auf 0,1 und darüber bis 0,5 % erhöht, so wurde das Längenwachstum stark herabgesetzt; die Wurzeln zeigten starke Verdickungen, welche von der Wurzelspitze nach oben zunahmen, und waren hakenförmig nach beliebigen Richtungen des Raumes gekrümmt, lebten aber noch, denn sie wuchsen nach Beendigung der Versuche in einer Wasserkultur, wenn auch sehr langsam, weiter fort. Diese Verdickungen und Krümmungen sind zweifelsohne einer Schädigung der Wurzel, die durch die ätzende Wirkung des Natriumhydroxyds hervorgerufen sein mag, und wie aus vorstehendem hervorgeht, erst bei Konzentrationen eintritt, welche 0,1 % überschreiten, zuzuschreiben. In schwächeren Lösungen angewendet, wirkt das Natriumhydroxyd, wie aus vorstehendem hervorgeht, negativ chemotropisch.

b) Chlornatrium NaCl.

An 60 Wurzeln, welche nach „Methode I“ zwischen zwei Gelatineblöcken wuchsen, von denen der eine das Kochsalz in Lösung enthielt, konnte ich eine stark ausgeprägte Krümmung nach dem lediglich mit destilliertem Wasser bereiteten Block feststellen, wenn die Konzentration 1 % betrug. Dieselbe Krümmungserscheinung trat bei schwächeren Lösungen und zwar bis zu einer Konzentration von 0,1 % ein, während bei Anwendung von Lösungen, welche 0,01 % dieses Salzes enthielten, an 24 Wurzeln keinerlei Krümmung festzustellen war. Eine 2 %ige Lösung tötete die Wurzeln, nachdem dieselben noch etwa 5—7 mm weiter gewachsen waren, ab. Dieses Salz wirkte somit negativ chemotropisch.

[1]) Miyoshi: Bot. Ztg. 1894 l. c.

Obwohl, wie dies nachstehende Tabelle ergibt, das Kochsalz, in 1 %iger Lösung angewandt, das Längenwachstum stark herabsetzte, somit eine schädigende Wirkung desselben auf die Wurzel anzunehmen ist, konnte die eingetretene Krümmung durch die einseitige Schädigung der Wurzel nicht hervorgerufen sein, da sonst, wie dies beispielsweise bei Ammonvanadat bereits erwähnt wurde, die Krümmung in der entgegengesetzten Richtung, also in der Richtung des das Salz enthaltenden Blocks, durch die Schädigung der diesem Block anliegenden Wurzelseite, hätte stattfinden müssen. Es war somit Grund zur Annahme vorhanden, daß die durch das Kochsalz hervorgerufene Krümmung tatsächlich eine rein chemotropische war. Diese Annahme fand volle Bestätigung durch Versuche nach „Methode II“ und zwar nach ihren sämtlichen im zweiten Teil dieser Abhandlung angeführten und in den Figuren 11–14 veranschaulichten Modifikationen.

Konzentration	0,1 %			1 %			
Wurzel-Nr.	a	e	z	a	k	e	z
1	32	53	21	20	23	26	6
2	32	54	22	20	27	29	9
3	37	60	23	22	28	30	8
4	39	59	20	20	22	27	7
5	36	56	20	19	24	30	11
6	34	51	17	19	20	25	6
7	25	44	19	35	38	45	10
8	26	47	21	36	41	43	7
9	28	47	19	30	34	38	8
10	30	51	21	32	39	41	9
Im Durchschnitt	31,9	52,2	20,3	25,3	29,6	33,4	8,1

Nach der „Methode II“ wurden insgesamt 108 Wurzeln untersucht und zwar mit dem gegenüber der „Methode I“ überraschenden Resultate, daß das Kochsalz bereits in Lösungen von 0,0001 % angewandt, stark repulsiv wirkte, und daß die Wurzeln unter Ausführung desto stärkerer Krümmungen sich von dem dargebotenen Kochsalz wegwandten, je stärker die Konzentration der Lösung war. Dieselbe Erscheinung trat ein, wenn als Wachstumsboden reiner Sand angewandt wurde, der von einer Gelatine umgeben war, die eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes enthielt. Das Wachstum im Sande war ein besseres, ebenso waren die Krümmungen schärfer ausgeprägt. Einige Versuche mit dekapitierten Wurzeln ergaben dasselbe Resultat. Es wurden einmal an 10 Wurzeln die Wurzelhaube und 1 mm und das andere Mal nebst der Wurzelhaube 2 mm von der Wurzelspitze mittels eines scharfen Messers abgehoben. In beiden Fällen verhielten sich die Wurzeln gegenüber Lösungen von 0,1 %, einerlei, ob sie in Gelatine oder im Sande wuchsen, negativ chemotropisch.

Da diese Erscheinungen auf eine andere Ursache nicht zurückgeführt werden konnten, ist es nach meiner Ansicht als unzweifelhaft anzusehen, daß die *Lupinus*-Wurzel durch Kochsalz in sehr hohem Grade negativ chemotropisch reizbar ist.

c) Natriumnitrat $NaNO_3$.

Gegenüber 0,01, 0,1, 1 und 2 %igen Lösungen dieses Salzes verhielten sich 48 *Lupinus*-Wurzeln bei Anwendung der „Methode I" völlig indifferent. Das Wachstum war ein ausgezeichnetes, da die an 24 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme bei einer Konzentration von 0,01, 0,1 und 1 % im Durchschnitt 21 mm betrug.

Wurde aber dieses Salz nach „Methode II" den in Gelatine wachsenden Wurzeln dargeboten, so zeigten dieselben, allerdings erst bei einer Konzentration von 0,5 % eine deutlich ausgeprägte Neigung zur Abwendung. Von 18 Wurzeln waren 7 deutlich weggekrümmt, während von den übrigen 11, 8 eine negative Tendenz zeigten und 2 lotrecht weitergewachsen waren. Die abgewendeten und nicht abgewendeten Wurzeln wuchsen in derselben Entfernung von dem eine 0,5 %ige Lösung dieses Salzes enthaltenden Loch einer zylinderförmigen Gelatinemasse, in der die Keimlinge sehr gut gediehen. Stieg die Konzentration auf 2 %, so war auch die Abwendung eine viel stärkere gewesen. Von 12 Wurzeln waren 10 stark abgewendet, während 2 lotrecht gewachsen und abgestorben waren. Von den abgewendeten waren 5 der Salzlösung zunächst wachsende ebenfalls tot.

Diesem Salze ist somit erst bei einer mit etwa 0,5 % beginnenden Konzentration eine schwache negative chemotropische Wirkung zuzuschreiben.

d) Natriumsulfat. Na_2SO_4.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber Lösungen dieses Salzes war ihrem oben erwähnten Verhalten gegenüber dem Salpeter ähnlich. Nach „Methode I" angewandt, haben selbst 2 %ige Lösungen des schwefelsauren Natrons nicht vermocht, eine Reaktion der Wurzel hervorzurufen. Unter Anwendung von Konzentrationen von 0,01, 0,1, 1 und 2 % wurden 44 Wurzeln untersucht. Alle verhielten sich indifferent. Die Wachstumszunahme, welche an 24 Wurzeln bei einer Konzentration von 0,1 und 1 % gemessen wurde, betrug im Durchschnitt je 16 mm.

Eine 0,5 %ige Lösung dieses Salzes verursachte, nach „Methode II" dargeboten, negativ chemotropische Krümmungen, welche an 8 von 10 untersuchten Wurzeln festgestellt wurden. Allerdings waren die Krümmungen nicht allzu stark ausgeprägt und traten erst ein, nachdem die Wurzel zuvor etwa 10—12 mm weiter lotrecht gewachsen war.

e) Natriumkarbonat Na_2CO_3.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber 0,01 und 0,1 % dieses Salzes enthaltenden Lösungen war ein durchaus

indifferentes; dagegen traten sehr stark ausgeprägte Krümmungen ein, wenn der eine der Gelatineblöcke mit einer 1 %igen Lösung dieses Salzes in destilliertem Wasser bereitet war. Von 16 untersuchten Wurzeln waren sämtliche unter einem Winkel von etwa 80—90° in den dieses Salz enthaltenden Block eingewachsen. Durch Messungen, die an je 6 Wurzeln vorgenommen wurden, ist festgestellt worden, daß das Wachstum hinter dem normalen und demjenigen, wenn die Wurzeln einem Block anlagen, der bloß 0,01 % oder 0,1 % dieses Salzes enthielt, zurückblieb, wie dies aus nachstehender Tabelle ersichtlich ist. Die Wurzelspitzen waren anscheinend beschädigt, denn sie waren schwach bräunlich gefärbt. Nach Beendigung der Versuche gediehen aber die Keimlinge in einer Wasserkultur verhältnismäßig gut und wuchsen, wenn auch langsam, weiter fort.

Konzentration	0,01 %			0,1 %			1 %			
Wurzel-Nr.	a	e	z	a	e	z	a	k	e	z
1	25	37	12	25	35	10	35	35	39	4
2	25	39	14	21	33	12	32	32	37	5
3	25	36	11	23	32	9	30	30	35	5
4	17	30	13	25	36	11	34	34	40	6
5	20	31	11	24	34	10	34	34	40	6
6	23	34	11	20	29	9	25	25	29	4
Im Durchschnitt:	22,5	34,5	12	23	33,1	10,1	31,6	31,6	36,5	5

Wurde eine 0,1 %ige oder eine 1 %ige Lösung dieses Salzes der Wurzel nach „Methode II“ dargeboten, so traten stark ausgeprägte positive Krümmungen ein: es waren nämlich im ersten Falle von 10 Wurzeln, 7, im zweiten Falle von 14 Wurzeln, 12 der Lösung zugekrümmt. Das Wachstum war normal. Es scheint somit, daß die *Lupinen*-Wurzel durch kohlensaures Natron positiv chemotropisch gereizt wird.

f) Natriumphosphat Na_2HPO_4.

Trotzdem die von mir getroffene Versuchsanordnung mit der von Newcombe und Rhodes beschriebenen völlig übereinstimmte, konnte ich keine Krümmungen der Wurzel beobachten, wenn der eine der Gelatineblöcke mit einer 0,28 %igen Lösung dieses Salzes bereitet war. Dieses an 72 Wurzeln festgestellte Resultat war umso auffälliger, als die genannten Autoren berichten, daß bei dieser Konzentration sämtliche von ihnen untersuchten *Lupinen*-Wurzeln in den dieses Salz enthaltenden Gelatineblock eingewachsen waren. Auch als ich den Versuch auf 48 Stunden ausdehnte, war das Verhalten der verhältnismäßig gut gewachsenen Wurzeln (die Wachstumszunahme betrug nach 48 Stunden an 12 Wurzeln gemessen im Durchschnitt 24 mm) ein völlig indifferentes. Den Grund, aus welchem

diese Versuche, bei den durch mich angestellten Untersuchungen, entgegen den Feststellungen von Newcombe und Rhodes, ein negatives Resultat ergaben, konnte ich nicht ermitteln und untersuchte deshalb, um überhaupt festzustellen, ob so schwache Lösungen dieses Salzes chemotrope Krümmungserscheinungen hervorrufen, 12 Wurzeln am Klinostaten.

Zu diesem Zwecke goß ich einerseits eine mit destilliertem Wasser bereitete 3 %ige Gelatinelösung, andererseits dagegen eine ebenso starke Lösung unter Zusatz von 0,28 % Natriumphosphat in Glasröhren von ca. 6 cm lichter Weite und 15 cm Höhe, entfernte nach dem Erstarren den zylindrischen Gelatinekörper aus der Glasröhre und zerschnitt ihn in Richtung der Längsachse. Zwischen zwei solchen halbzylindrischen Gelatinekörpern, wurde, wie dies beistehende Skizze Nr. 19 ergibt, in der aus derselben ersichtlichen Weise der *Lupinus*-Keimling befestigt, das Ganze in das zum Gießen bestimmt gewesene Glasrohr gesteckt und je drei solcher Glasröhren in einen nachher an seinen beiden Enden geschlossenen Zylinder aus Pappe gesteckt. Auf die Kotyledonen wurde etwas mit Wasser durchfeuchtetes Fließpapier gebracht. Der Zylinder wurde nun an einem Klinostaten befestigt. Vier derartig adjustierte Klinostaten wurden nunmehr in Bewegung gesetzt und diese während der Dauer von 24 Stunden ununterbrochen aufrecht erhalten. Hierauf wurde untersucht.

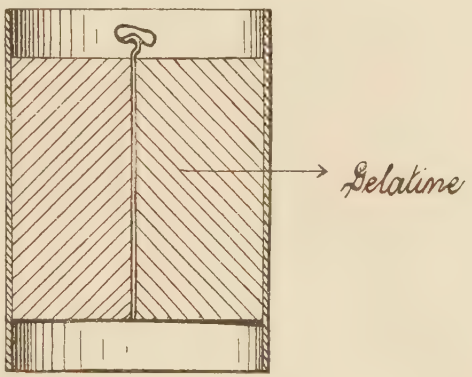


Fig. 19.

Das Ergebnis der Untersuchung war, daß bei einem etwas schneller als die anderen rotierenden Klinostaten sämtliche drei verhältnismäßig gut gewachsenen Wurzeln eine Krümmung ausgeführt und in die das Salz enthaltende Gelatine eingedrungen waren. Von den übrigen 9 Wurzeln verhielten sich 3 indifferent, 4 waren in die mit dem Salz bereitete Gelatine eingewachsen, während 2 gegen diese Gelatine eine merkliche Krümmung ausgeführt hatten. Da dieser Versuch als Kriterium hierfür angesehen werden konnte, daß der von einer 0,28 %igen Lösung des phosphorsauren Natrons ausgehende Reiz schwächer als der geotropische war, untersuchte ich noch am Klinostaten das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber einer schwächeren Lösung dieses Salzes, und zwar gegenüber einer 0,1 %igen Lösung. Von 12 Wurzeln waren auch in diesem Falle die an dem schneller

rotierenden befestigten in die das Salz enthaltende Gelatine eingewachsen, während von den übrigen 9, sich 5 indifferent verhielten, 4 hingegen deutlich gegen die das Salz enthaltende Gelatine gekrümmt waren.

Enthielt der eine Gelatineblock 1% Natriumphosphat, so waren von 60 Keimlingen, 53 stark gegen denselben gekrümmt und in diesen Block eingewachsen, während das Verhalten der übrigen 7 ein indifferentes war. Stieg die Konzentration auf 1,5 und 2%, so waren sämtliche Wurzeln in den Block eingewachsen, starben aber, wie dies auch Newcombe und Rhodes angeben, sehr bald ab.

Aus der nachstehenden Tabelle ist ersichtlich, daß auch durch dieses Salz das Wachstum der *Lupinus*-Wurzel nachteilig beeinflußt wird.

Konzentration	1%			
Wurzel-Nr.	a	k	e	z
1	23	27	30	7
2	22	22	30	8
3	23	26	30	7
4	26	27	34	8
5	23	24	30	7
6	20	23	28	8
Im Durchschnitt:	22,8	24,8	30,3	7,5

Bei Anwendung einer 0,01%igen Lösung dieses Salzes betrug demgegenüber die Zuwachsgröße, in ebenfalls 24 Stunden, an 6 Wurzeln gemessen, im Durchschnitt 18 mm.

Viel empfindlicher war das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber Natriumphosphat, wenn ihr dieses Salz nach „Methode II“ oder nach deren Modifikationen dergeboten wurde. Von 16 Wurzeln waren, wenn die Lösung 0,1%ig war, 11 in der Entfernung von 1—3 cm wachsende Wurzeln gegen dieselbe gekrümmt, während 5 weiter wachsende sich indifferent verhielten. Befand sich in dem in der Gelatine ausgestochenen Loch eine 1%ige Lösung dieses Salzes, so waren sämtliche untersuchten 20 Wurzeln gegen diese Lösung gekrümmt und wuchsen auf dieselbe zu. Ein gleiches Verhalten zeigten 10 im Sand, welcher von einer 1% Natriumphosphat enthaltenden Gelatine umrahmt war, wachsende Wurzeln.

g) Natriumacetat $C_2H_3O_2Na$.

Dieses Salz wirkt in 1%iger Lösung tötend und zwar sowohl in einem Gelatineblock nach „Methode I“ als auch nach „Methode II“ angewendet. Nach letzterer Methode erwiesen sich auch schwächere Lösungen als totbringend und zwar trat der Tod schon bei 0,1%igen Lösungen und darunter ein. Der schä-

digende Einfluß dieses Salzes auf das Wachstum war dadurch bemerkbar, daß die Zuwachsgröße, wenn die Wurzel einem 0,1 % desselben enthaltenden Block anlag, nur 4 mm betrug. Im ganzen wurden 24 Wurzeln untersucht und von diesen 6 der Messung unterzogen.

h) Weinsaures Natron $C_4H_4O_6Na_2$.

Gegenüber einer 0,01 und 0,1 % igen Lösung dieses Salzes in einem Gelatineblock verhielten sich je 6 *Lupinus*-Wurzeln bei gutem Wachstum indifferent. Wurde aber eine 1 % ige Lösung dieses Salzes einseitig dargeboten, so traten bei 11 von 12 untersuchten Wurzeln stark ausgeprägte Krümmungen ein; das Wachstum war jedoch schwach, denn der an sämtlichen 12 Wurzeln festgestellte Wachstumszuwachs betrug bloß 8 mm.

Wurde dieses Salz nach „Methode II" dargeboten, so traten, wenn die Konzentration 0,1 % oder darüber betrug, stark ausgeprägte Krümmungen ein. Von 14 untersuchten Wurzeln waren 7 in einer Entfernung von 1—3 cm wachsende, der Lösung stark zugewendet, 5 in einer Entfernung von 4 cm wachsende Wurzeln zeigten gar keine Krümmung, während 2 am weitesten (5 cm) wachsende Wurzeln schwach abgewendet waren.

i) Weinsaures Natronkali $C_4H_4O_6KNa$.

Diesem Salze gegenüber verhielten sich die *Lupinus*-Wurzeln genau so, wie gegenüber dem weinsauren Natron, jedoch mit dem Unterschiede, daß als eine 0,1 % ige Lösung desselben nach „Methode II" dargeboten wurde, von 12 untersuchten Keimlingen, sämtliche, auch die in einer Entfernung von 5 cm wachsenden, auf die Lösung zuwuchsen und derselben zugewendet waren. Es mag dies daran liegen, daß, wie noch mitgeteilt werden soll, die *Lupinus*-Wurzeln gegenüber dem weinsauren Kali viel empfindlicher waren als gegenüber dem weinsauren Natron.

3. Kaliumsalze.

Von den Kaliumsalzen untersuchte ich näher die folgenden: Kaliumhydroxyd, Chlorkalium, Bromkalium, Jodkalium, Kalisalpeter, Kalisulfat, kohlensaures Kalium, Kaliummonophosphat, Kaliumbichromat, Kaliumpermanganat, Kalialaun, Cyankalium, Rhodankalium, gelbes und rotes Blutlaugensalz, ameisensaures Kalium, Kaliacetat, buttersaures, weinsaures, zitronensaures, apfelsaures und harnsaures Kali.

Miyoshi[1]) stellte fest, daß Monokaliumphosphat attraktiv, Kalisalpeter, Chlorkalium auch Kaliumchlorat auf Pilse repulsiv wirkten. Ungefähr ähnlich verhielt sich auch die *Lupinus*-Wurzel den entsprechenden Kaliverbindungen gegenüber, von denen nur Kalisalpeter, Chlorkalium und das Kaliumphosphat als Nährsalze anzusehen sind. Wenn auch die Untersuchung über das Ver-

[1]) Miyoshi, l. c.

halten der Wurzel gegenüber Verbindungen, auf welche, wie z. B. buttersaures, apfelsaures Kali, Cyankalium, Kaliumpermanganat, etc., die Wurzel in der Natur kaum stoßen wird, wenig praktisches Interesse bot, war doch das Verhalten der Wurzel diesen zum Teil typischen Giften gegenüber von großem Wert für die vorliegende Untersuchung, da erst durch das Verhalten diesen Stoffen und noch anderen später zu erwähnenden giftigen Substanzen gegenüber, die Fehlerquellen der von Newcombe und Rhodes angewendeten Methode mit Sicherheit aufgedeckt und nachgewiesen worden sind.

a) Kaliumhydroxyd KOH.

Das Verhalten der Lupinenwurzel gegenüber diesem Salze nach „Methode I" konnte nicht untersucht werden, da schon geringe Mengen desselben, ebenso wie Natriumhydroxyd, das Erstarren der Gelatinelösung verhinderten. Ich beschränkte mich deshalb nur auf die Anwendung der „Methode II", und fand, daß schon sehr schwache Lösungen dieser Verbindung eigentümliche Verdickungen der Wurzel hervorriefen. Befand sich in dem in der Gelatine ausgestochenen Loch eine 0,01 %ige Lösung dieses Salzes, so war das Längenwachstum gegenüber dem normalen stark zurückgeblieben, und von 12 untersuchten Wurzeln waren 8 von der Lösung abgewendet, während das Verhalten der übrigen 4, mit Ausnahme der starken Verdickungen, welche insbesondere im oberen Teile der Wurzel auftraten, ein normales bezw. indifferentes war.

b) Chlorkalium KCl.

In seiner Wirkung war dieses Salz von Chlornatrium wesentlich verschieden. Dies zeigte sich schon darin, daß während eine 1 %ige Lösung von Kochsalz das Längenwachstum stark herabsetzte und eine 2 %ige Lösung den Tod der Wurzel herbeiführte, ein- und zweiprozentige Lösungen von Chlorkalium auf das Längenwachstum der *Lupinus*-Wurzel anscheinend gar keinen schädlichen, hemmenden Einfluß ausübten. Im Durchschnitt betrug die an 12 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme bei einer 0,1 bezw. einer 1 %igen Lösung dieses Salzes 22 bezw. 20 mm. Sie war demnach genau so groß, wie die Wachstumszunahme der in einer Dampfatmosphäre wachsenden Keimlinge. Enthielt der eine Block 1 % von diesem Salze, so waren von 12 Wurzeln, 3 gegen den andern Block gekrümmt, 9 dagegen gerade gewachsen. Bei einem Gehalt von 2 % waren von 12 Wurzeln, 7 gegen den lediglich destilliertes Wasser enthaltenden Block gekrümmt.

Wurde dieses Salz nach „Methode II" in einer 0,1 und einer 1 %igen Lösung dargeboten, so trat die bereits aus dem Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber einer Kochsalzlösung bekannte repulsive Wirkung ein. Von 20 Wurzeln, waren 18 in einer Entfernung von 1—4 cm wachsende abgewendet, die übrigen 2, welche in einer Entfernung von 5 cm von der Salzlösung wuchsen, verhielten sich dagegen indifferent. Die bei Anwen-

dung einer 0,5 %igen Läsung eingetretenen Krümmungen waren den durch eine 1 %ige Lösung hervorgerufenen durchaus gleich, sämtliche aber nicht so stark ausgeprägt wie beim Kochsalz. Während sich nämlich bei diesem letzteren die Wurzelspitze nach ausgeführter Krümmung schätzungsweise etwa 20—30 mm von der lotrechten Wachstumsrichtung entfernte, betrug diese Ablenkung bei Chlorkalium nur etwa die Hälfte.

c) Jodkalium JK.

Das Verhalten von 24 Wurzeln gegenüber 0,01, 0,1 und 1 %igen Lösungen dieses, in einem Gelatineblock dargebotenen Salzes, war bei sehr gutem Wachstum ein indifferentes. Eine schwache repulsive Wirkung schien eingetreten zu sein, wenn eine 1 %ige Lösung des Jodkalium nach „Methode II“ auf 16 *Lupinus*keimlinge wirkte. Vier 1,5 cm von der Lösung entfernte Wurzeln waren von der Lösung schwach abgewendet, 12 weiter wachsende verhielten sich völlig indifferent. Das Verhalten der erstgenannten 4 Wurzeln konnte aber auch auf andere Ursachen als auf chemotropische Reize zurückzuführen sein, denn ich habe des öfteren beobachtet, daß selbst bei Salzen, durch welche die Wurzel in sehr hohem Grade positiv oder negativ chemotropisch reizbar war, eine Anzahl von Wurzeln vorhanden waren, die sich indifferent oder entgegengesetzt verhielten.

d) Bromkalium KBr.

Die Wirkung des Kaliumbromids war derjenigen des Jodkaliums durchaus identisch. In einem Gelatineblock dargeboten, wirkte dieses Salz garnicht und zwar weder in einer 0,01 oder in einer 0,1 noch in einer 1 %igen Lösung.

Bei Anwendung dieses Salzes nach „Methode II“ konnte eine sehr schwache Abwendung von 3 von 16 untersuchten Wurzeln festgestellt werden. Auch die hier eingetretene Krümmung dürfte keine chemotropische Reizerscheinung sein, denn, wie mir alle Versuche zeigten, war, sobald die Wurzel durch ein bestimmtes Salz chemotropisch reizbar war, stets die überwiegende Zahl der Wurzeln der Lösung zu- oder von dieser abgewendet.

e) Kalisalpeter KNO_3.

Gegenüber 0,01 und 0,1 %igen Lösungen dieses Salzes verhielten sich je 10 Wurzeln bei Anwendung der „Methode I“ indifferent. Enthielt der Block eine 1 %ige Lösung dieses Salzes, so waren von 24 Wurzeln, eine von diesem Block schwach abgewendet, während das Verhalten der übrigen 19 ein völlig indifferentes war. Es konnte festgestellt werden, daß dieser in der Bodenkultur als ausgezeichnetes Nährsalz vielfach verwendete Stoff auf das Wachstum der Wurzel hemmend wirkte, wie sich dies aus der nachstehenden Tabelle ergibt. Diese zeigt, daß während die Zuwachsgröße bei Anwendung einer 0,1 %igen Lösung an 10 Wurzeln gemessen, im Durchschnitt 11,4 mm betrug, sie

durch Anwendung einer 1 %igen Lösung um etwa 4 mm herabgesetzt wurde.

Konzentrat.	0,1 %			1 %		
Wurzel No.	a	e	z	a	e	z
1	22	35	13	21	30	9
2	22	34	12	23	32	9
3	26	39	13	21	28	7
4	25	35	10	21	30	9
5	21	33	12	23	32	9
6	19	29	10	21	29	8
7	22	32	10	26	35	9
8	24	35	11	28	36	8
9	28	39	11	25	34	9
10	27	39	12	26	34	8
Im Durchschn.:	23,6	35	11,4	23.5	32	8,5

Ein wesentlich anderes Verhalten zeigten die Lupinenwurzeln diesem Salze gegenüber, wenn ihnen dasselbe nach „Methode II“ dargeboten wurde. Je nach der Konzentration trat eine positive oder negative Krümmung ein, oder aber verhielten sich die Wurzeln völlig indifferent, insbesondere, wenn die Konzentration 0,2 — etwa 0,5 % betrug. Stieg die Konzentration über 0,5 % auf 1 % und darüber, so war die bei weitem überwiegende Zahl der Wurzeln von der Diffusionsrichtung der Salzlösung abgewendet und zwar wandten sich von 14 Wurzeln, 9 ab, während die übrigen 5 lotrecht weiter gewachsen waren. Eine Ausnahme bildete ein Fall, bei dem sich von 20 untersuchten Wurzeln 4 der Lösung zugewendet hatten, 16 hingegen lotrecht weiter gewachsen waren. Betrug der Gehalt der Lösung 0,1 % oder darunter, so waren von 12 Wurzeln 8 der Lösung zugewendet. In einem Falle, als die Konzentration genau 1 % betrug, waren von 16 Wurzeln 5 in einer Entfernung von 1—2 cm wachsende abgewendet und 6 in einer Entfernung von 3, 4 und 5 cm befindliche der Lösung zugewendet, während sich 4 Wurzeln, von denen 2 in einer Entfernung von 2 cm, eine in einer Entfernung von 1 cm und eine in einer Entfernung von 5 cm wuchsen, völlig indifferent verhielten. Das Wachstum war in allen diesen Fällen ein überaus gutes.

f) Kaliumsulfat $K_2 SO_4$.

Bei gutem Längenwachstum (die an 10 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme betrug bei Anwendung einer 1 %igen Lösung im Durchschnitt 15 mm) verhielten sich 18 Wurzeln gegenüber 0,01, 0,1 und 1 %igen Lösungen dieses Salzes indifferent, wenn „Methode I“ angewendet wurde.

Nach „Methode II“ fand, wenn eine 0,1 %ige Lösung dargeboten wurde, bei 10 von 14 untersuchten Wurzeln eine schwache

Zuwendung statt. Stieg die Konzentration auf 1 %, so krümmten sich von 14 Wurzeln nur noch 6 der Lösung zu, während bei Anwendung dieses Salzes in einer 0,01 %igen Lösung sämtliche 16 untersuchten Wurzeln derselben stark zugewendet waren.

g) Kaliumkarbonat $K_2 CO_3$.

Gegenüber der Potasche verhielt sich die Lupinenwurzel ähnlich wie gegenüber dem kohlensauren Natron. Bei Konzentrationen von 0,01 und 0,1 % wuchsen die untersuchten je 6 Wurzeln gerade weiter. Die Wachstumszunahme betrug in ersterem Falle im Durchschnitt 22 mm und im zweiten 20 mm, war somit um 10 mm größer als bei den ebenso starken Lösungen von Natriumkarbonat. Enthielt aber der eine der Gelatineblöcke eine 1 %ige Lösung dieses Salzes, so waren bei einer Versuchsreihe von 24 Wurzeln, sämtliche in den dieses Salz enthaltenden Gelatineblock unter starker Krümmung eingewachsen und tot. Der Tod muß erst nach dem Einwachsen stattgefunden haben, da dies daraus geschlossen werden konnte, daß bei einer anderen Versuchsreihe, bei welcher von 12 Wurzeln, 5 in den Block eingewachsen und abgestorben waren, die übrigen 7 nicht eingewachsenen lebten und ebenso wie die toten eine Wachstumszunahme von durchschnittlich 8 mm zeigten, während die Wachstumszunahme bei einer 1 %igen Sodalösung bloß 5 mm betrug. Es scheint somit, daß Lösungen von Potasche der *Lupinus*-Wurzel zuträglicher bezw. weniger schädlich sind als gleich starke Lösungen von kohlensaurem Natron.

Wurde eine 0,1 %ige oder eine 1 %ige Lösung von Potasche der Wurzel nach „Methode II“ dargeboten, so traten ebenso wie bei kohlensaurem Natron stark ausgeprägte positive Krümmungen ein. Es waren im ersteren Falle von 12, 11, im zweiten Falle von 20, 18 Wurzeln der Lösung zugewendet. Die Wurzeln wiesen aber starke Verdickungen auf, die den bei Darbietung von Kaliumhydroxyd eingetretenen, sehr ähnlich waren.

h) Monokaliumphosphat $KH_2 PO_4$.

Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes rief nach „Methode I“ angewendet bei zwei von 60 untersuchten Wurzeln, gegen den dieses Salz enthaltenden Block gerichtete Krümmungen hervor. Das Verhalten der übrigen 58 war ein in jeder Beziehung indifferentes. Eine 0,01 und eine 0,1 %ige Lösung desselben blieben völlig wirkungslos. Die Wachstumszunahme betrug in sämtlichen drei Fällen (in jedem an je 6 Wurzeln durch Messung festgestellt) im Durchschnitt 11 mm. Wurzeln, denen die Haube und ein und zwei Millimeter von der Wurzelspitze abgenommen wurden, zeigten gegenüber gleich starken Lösungen das nämliche indifferente Verhalten.

Nach „Methode II“ wurde das Verhalten von 10 Wurzeln gegenüber einer 0,1 %igen Lösung und das Verhalten von 20 Wurzeln gegenüber einer 1 %igen Lösung näher untersucht. Im ersteren Falle waren sämtliche der Lösung mehr oder minder

zugekrümmt, im zweiten Falle wandten sich sämtliche Wurzeln der Lösung stark zu. Von 8 Wurzeln, denen die Haube und 2 mm von der Wurzelspitze abgenommen wurden, wandten sich 6 einer 0,1 %igen Lösung zu.

i) Kaliumbichromat $K_2Cr_2O_7$.

Schon 0,05 %ige Lösungen dieses Salzes wirkten nach „Methode I" angewandt, innerhalb weniger Stunden tötlich. Auf eine 0,01 %ige Lösung reagierten 6 im Durchschnitt um 6 mm gewachsene Wurzeln nicht. Wie an der Färbung festgestellt werden konnte, fand eine ziemlich starke Diffusion dieses Salzes aus dem dasselbe enthaltenden Block nach dem andern statt, so daß das vorgenannte Resultat eine sichere Schlußfolgerung nicht zuließ.

Daß die *Lupinus*-Wurzel durch stark verdünnte Lösungen dieses Salzes negativ chemotropisch reizbar ist, zeigten übereinstimmend zwei Versuchsreihen, bei denen einmal eine 0,01 %ige Lösung, das andere Mal dagegen eine 0,001 %ige Lösung dieses Salzes nach „Methode II" dargeboten wurde. In beiden Fällen wurden je 10 Wurzeln untersucht und waren alle von der Lösung stark weggekrümmt.

k) Kaliumpermanganat $KMnO_4$.

Von dieser Verbindung bot ich nach „Methode I" der Wurzel Lösungen dar, welche 0,001, 0,01 0,1 und 1 % dieses Salzes enthielten. Während sich je 6 Wurzeln gegenüber den ersteren drei Konzentrationsgraden völlig indifferent verhielten, waren bei einer Konzentration von 1 % von 8 untersuchten, 2 Wurzeln schwach gegen den nur mit destilliertem Wasser bereiteten Gelatineblock gekrümmt. In sämtlichen Fällen war das Wachstum ein überaus gutes und normales, denn die Wachstumszunahme betrug im Durchschnitt an je 12 Wurzeln durch Messung festgestellt, 20 mm. Eine Diffusion nach dem anderen, diesem Block anliegenden Gelatineblock, ähnlich wie bei Bichromat, konnte nicht festgestellt werden. Es mag dies daran liegen, daß die Gelatine durch das Permanganat in ihren physikalischen Eigenschaften verändert wird, sie wird sehr hart, und der Block war an seinen Außenflächen spiegelblank, sodaß, trotzdem sich die beiden Blöcke wie bei allen anderen Versuchen, berührten, ein inniges Zusammenhaften derselben und dementsprechend auch eine Diffusion nicht stattfand.

Eigentümlicherweise waren sämtliche 16 Wurzeln einer 0,1 und einer 1 %igen Lösung dieses Salzes stark zugewendet, wenn dasselbe nach „Methode II" dargeboten wurde. Dieses Resultat läßt aber in anbetracht des Umstandes, daß bereits nach kurzer Zeit eine völlige Reduktion des Permanganats stattgefunden hat, keinen sicheren Schluß darüber zu, ob die eingetretene Wirkung dem Permanganat als solchem, oder dem durch die Reduktion ausgeschiedenen Oxydhydrat zuzuschreiben ist. Eine Diffussion des Permanganats als solches fand nicht statt, denn die

Gelatine blieb farblos. Hingegen trat eine völlige Entfärbung der Lösung ein, und die *Lupinus*-Wurzeln waren selbst in einer Entfernung von 5 cm, der Lösung sehr stark zugekrümmt und sehr gut gewachsen. Von 16 Wurzeln wuchsen 5 in die Lösung ein und gediehen nach Entfernung aus der Gelatine in einer Wasserkultur sehr gut, sodaß also eine Schädigung der Wurzel nicht eingetreten war.

l) Kalialaun $K_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 24\,H_2O$.

Von dieser Doppelverbindung wurden der *Lupinus*-Wurzel nach „Methode I“ 00,1, 0,1 und 1%ige Lösungen dargeboten. Gegenüber den beiden ersteren verhielt sich die Wurzel indifferent, während von 6 *Lupinus*-Wurzeln, die einem 1%igen dieses Stoffes enthaltenden Gelatineblock anlagen, 4 in diesen Block eingewachsen, stark gekrümmt, sehr wenig weiter gewachsen und im Absterben begriffen waren. Während die an je 6 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme für die ersten beiden Konzentrationsgrade durchschnittlich 17 bzw. 13,3 mm betrug, sank dieselbe bei einer Konzentration von 1% auf 3,1 mm, woraus hervorgeht, daß der Kalialaun auf das Wachstum selbst sehr stark hemmend wirkt, sodaß auch die eingetretene Krümmung auf eine Schädigung zurückzuführen sein dürfte.

Daß diese Annahme eine zutreffende war, stellte sich heraus, als eine 0,1%ige Lösung von Kalialaun nach „Methode II“ der *Lupinus*-Wurzel dargeboten wurde. Von 12 Wurzeln waren sämtliche von der Lösung weggekrümmt, ein Resultat, welches nicht überrascht, wenn wir uns erinnern, daß das Kaliumsulfat, für sich angewendet, zwar attraktiv wirkte, daß aber, wie wir noch sehen werden, durch Aluminiumsulfat die *Lupinus*-Wurzel sehr stark negativ chemotropisch gereizt wird.

m) Cyankalium KCN.

Eine 0,01%ige Lösung dieses Salzes wirkte tötend, sowohl nach „Methode I“ als auch nach „Methode II“ angewandt. Der Tod trat aber erst nach mehreren Stunden ein, sodaß die Wurzeln noch im Durchschnitt 5 mm gewachsen sind, bevor sie abstarben. Mangels einer praktischen Bedeutung habe ich Versuche mit schwächeren Lösungen dieses überaus giftigen Stoffes nicht angestellt.

n) Rhodankalium KCNS.

Gegenüber einer 0,1 und einer 1%igen Lösung dieses Salzes verhielten sich 12 *Lupinus*-Keimlinge völlig indifferent. Das Wachstum war ein mittelmäßiges, die Wachstumszunahme betrug in beiden Fällen durchschnittlich 10 mm.

In einer 0,1%igen Lösung, nach „Methode II“ angewandt, wirkte dieses Salz repulsiv. Von 12 Wurzeln waren 9 abgewendet, 3 dagegen lotrecht weiter gewachsen. Unter den abgewendeten befanden sich 5 in einer Entfernung von 1—3 cm, 4 dagegen in einer Entfernung von 3—5 cm von der Lösung dieses Salzes.

o) Ferrocyankalium $Fe(CN)_6K_4$.

Eine 1 % ige Lösung dieses Salzes wirkte, nach „Methode I“ angewandt, tötend. Gegenüber Lösungen, die 0,1 und 0,01 % des gelben Blutlaugensalzes enthielten, verhielt sich die *Lupinus*-Wurzel bei sehr mäßigem Wachstum völlig indifferent.

Wurde eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes nach „Methode II“ dargeboten, so war das Wachstum ebenfalls ein sehr mäßiges gewesen, ohne daß eine Krümmungserscheinung eingetreten gewesen wäre.

p) Ferricyankalium $Fe_2(CN)_{12}K_6$.

Auch das rote Blutlaugensalz wirkte, nach „Methode I“, angewandt, in 1 %iger Lösung tötend, während sich die Lupine schwächeren Lösungen gegenüber und zwar Lösungen von 0,1 und 0,01 % völlig indifferent verhielt.

Überraschend war es, als bei Darbietung dieses Salzes in einer Konzentration von 0,1 % sämtliche 14 untersuchten Wurzeln unter Ausführung starker Krümmungen, auf die in dem in der als Nährboden dienenden Gelatine ausgestochenen Loch befindliche Salzlösung zuwuchsen. Während das Wachstum bei Anwendung des gelben Blutlaugensalzes auch unter Anwendung der „Methode II“ ein sehr mäßiges gewesen ist, war dasselbe im vorliegenden Falle ein auffallend starkes. Die Zunahme betrug innerhalb 24 Stunden im Durchschnitt 22 mm, war also ebenso stark wie in einer Dampfkammer oder in einer Wasserkultur. Die Ursache des so verschiedenen Verhaltens der Lupine gegenüber zwei so nahe verwandten und bei „Methode I“ in gleicher Konzentration tötend wirkenden Salzen vermochte ich bisher nicht aufzuklären.

q) Kaliumformiat H.COOK.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber dem ameisensauren Kalium war dasselbe wie gegenüber dem Ammoniumformiat. Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes, nach „Methode I“ angewendet, wirkte tötend. Eine 0,1 und eine 0,01 %ige Lösung hemmten das Wachstum in sehr hohem Grade, denn an je 6 Wurzeln vorgenommene Messungen haben ergeben, daß der Zuwachs im Durchschnitt nur 3,3 bzw. 6,6 mm betrug.

Auch nach der „Methode II“ angewendet, rief dieses Salz, und zwar schon in einer Konzentration von 0,01 %, nach kurzer Zeit den Tod der Keimlinge hervor.

r) Kaliumacetat $C_2H_3O_2K$.

Die Wirkung des essigsauren Kaliums war sowohl nach „Methode I“ als auch nach „Methode II“ die nämliche wie die des Natriumacetats. Eine 1 %ige Lösung wirkt, nach beiden Methoden angewendet, tötlich. Schwächere Lösungen schädigen die Wurzeln in hohem Grade, hemmen das Wachstum, ohne eine Krümmungsbewegung hervorzurufen.

Eigentümlich war es, daß eine 0,01 %ige Lösung dieses giftigen Salzes, nach „Methode II“ angewendet, eine schwache positive Krümmung hervorgerufen hat, indem von 12 Wurzeln 9 der Lösung schwach zugewendet waren. Da die Diffussion dieses Salzes durch die Gelatine sehr rasch fortschreitet, ist es nicht ausgeschlossen, daß diese letzterwähnte Krümmung ebenfalls auf eine Schädigung zurückzuführen ist, die dadurch zustande gekommen sein mag, daß die Wurzel von dem hindurchdiffundierenden Salz geschädigt wurde und in der Richtung des Diffusionsstromes eine Krümmung ausgeführt hat.

s) Buttersaures Kali $C_4H_7O_2K$.

Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes wirkte bei beiden Methoden tötlich. Schwächere Lösungen hemmten ebenfalls bei beiden Methoden das Wachstum in sehr hohem Grade, denn der an je 6 Wurzeln gemessene Wachstumszuwachs betrug für eine 0,01 %ige Lösung 11 mm, für eine 0,1 %ige Lösung dagegen nur noch 4,1 mm. Irgendwelche Krümmungen sind nicht eingetreten.

t) Weinsaures Kali $C_4H_4O_6K_2$.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel wurde gegenüber 0,01, 0,1, 0,25, 0,5, 1, 5, 10 und 20 %igen Lösungen dieses Salzes untersucht.

Die 0,01 %ige Lösung hatte, nach „Methode I“ angewendet, nur eine sehr schwache Wirkung. Von 6 Wurzeln zeigten 2 schwache Krümmungsneigung, während 4 gerade gewachsen waren. Wurden 6 Wurzeln die Wurzelhauben und außerdem 2 mm von der Wurzelspitze abgehoben, so konnte bei derselben Konzentration an 3 Wurzeln ebenfalls eine schwache Krümmungsneigung festgestellt werden. War der eine Gelatineblock mit einer 0,1 oder einer 0,25 %igen Lösung dieses Salzes bereitet, so war die Attraktion eine etwas stärkere gewesen, indem von je 6 Wurzeln im ersteren Falle 4, im zweiten Falle alle 6 gegen den dieses Salz enthaltenden Block eine Krümmung ausgeführt haben. Von je 6 dekapitierten Wurzeln, denen außer der Wurzelhaube durch einen Schnitt 2 mm abgenommen wurden, waren in beiden Fällen je 4 gegen den Block gekrümmt. Die Krümmung war eine stärkere, wenn die Konzentration auf 0,5 % stieg. Von 6 Wurzeln waren in diesem Falle 5 gegen den Block stark gekrümmt, eine in denselben eingewachsen. Wurde der eine der Gelatineblöcke mit einer 1 %igen Lösung dieses Salzes bereitet, so waren sämtliche untersuchten 6 Wurzeln unter starker Krümmung in den Block eingewachsen; genau so verhielten sich auch 6 durch Dekapitierung um 2 mm gekürzte Wurzeln. Eine 5, 10 und 20 %ige Lösung riefen äußerst kräftige Krümmungen hervor; in den beiden letzteren Fällen war die Krümmung eine hakenförmige. Die Wurzeln waren in den Block eingedrungen und abgestorben, während dieselben bei Anwendung eines 5 % von diesem Salze enthaltenden Blocks im

Absterben begriffen waren und nach Beendigung der Versuche in einer Wasserkultur nicht mehr gediehen. Durch Messungen, welche an je 10 Wurzeln vorgenommen wurden, konnte ich feststellen, daß dieses Salz schon in einer Konzentration von 0,1 % auf das Wachstum hemmend wirkt, wie sich dies aus nachstehender Tabelle ergibt:

Konzentration	0,01 %			0,1 %			1 %			
Wurzel-Nr.	a	e	z	a	e	z	a	k	e	z
1	22	37	15	23	31	8	20	21	27	7
2	24	41	17	21	30	9	23	24	30	7
3	24	39	15	23	32	9	19	20	25	6
4	27	44	17	22	30	8	20	21	28	8
5	22	37	15	23	33	10	20	21	27	7
6	22	38	16	22	31	9	24	25	32	8
7	22	39	17	20	30	10	24	25	31	7
8	25	43	18	24	32	8	23	25	29	6
9	24	40	16	25	34	9	25	25	32	7
10	23	40	17	23	32	9	26	27	32	6
Im Durchschnitt	23,5	39,8	16,3	22,6	31,5	8,9	22,4	23,4	29,3	6,9

Wurde dieses Salz nach „Methode II“ dargeboten, so wandten sich von 12 Wurzeln einer 0,1 %igen Lösung 9 Wurzeln zu, während drei gerade weiter gewachsen waren. Stieg die Konzentration auf 1 %, so waren sämtliche Wurzeln sehr stark gegen die Lösung gekrümmt. Noch bei einer Konzentration von 0,01 % konnte bei 7 von 12 untersuchten Wurzeln eine stark ausgeprägte Zuwendung festgestellt werden. Genau so verhielten sich 10 dekapitierte Wurzeln gegenüber einer 1 %igen Lösung. Es waren sämtliche um 2 mm gekürzte Wurzeln gegen die Lösung gekrümmt. Dieselben Resultate ergaben Versuche, bei denen die Versuchsanordnung die in den Figuren 11, 12 und 13 veranschaulichte gewesen ist.

Dagegen ergaben Versuche nach „Methode III“ durchweg ein negatives Resultat. Es wurden im ganzen 6 Wurzeln untersucht, alle wuchsen aber in dem die beiden Sandfelder trennenden Kanal gerade weiter.

u) Zitronensaures Kali $C_6H_5O_7K_3$.

Gegenüber einer 0,01 und einer 0,1 %igen Lösung dieses Salzes verhielten sich je 8 untersuchte Wurzeln völlig indifferent. Eine Konzentration von 1 % rief stark ausgeprägte Krümmungen hervor. 5 von untersuchten 6 Wurzeln waren in den dieses Salz enthaltenden Block eingewachsen. Der Krümmungswinkel betrug etwa 80°, und erwies sich die Krümmung als eine Schädigungskrümmung, denn nach Beendigung der Versuche gediehen die Wurzeln in einer Wasserkultur nicht. Ihr Wachstum war ein sehr schwaches gewesen. Die an 6 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme betrug im Durchschnitt nur 6,8 mm. Die Wurzelspitzen waren stark gebräunt, die Turgeszenz, wie dies an der

Schlaffheit der Wurzeln festgestellt werden konnte, eine äußerst schwache. An Wurzeln, welche einem 0,01 % dieses Salzes enthaltenden Block anlagen, betrug der Zuwachs durchschnittlich 12 mm.

Gegenüber 0,1 und 1 %igen Lösungen dieses Salzes verhielten sich je 10 Wurzeln indifferent, wenn das zitronensaure Kali nach „Methode II" dargeboten wurde. Von 10 Wurzeln, deren Verhalten gegenüber einer 1 %igen Lösung untersucht wurde, waren 4 in einer Entfernung von 1—2 cm wachsende tot, die übrigen lebten und waren verhältnismäßig gut und gerade gewachsen.

v) Apfelsaures Kali $C_4H_4O_5K_2$.

0,01 und 0,1 %ige Lösungen von apfelsaurem Kali waren ohne jede Wirkung und ohne eine sichtbare Beeinflussung des Wachstums. Die Wachstumszunahme betrug nämlich, an je 6 Wurzeln gemessen, im Durchschnitt 17 bzw. 14 mm. Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes rief gleichfalls keine Krümmungen hervor; auch hier war das Wachstum ein anscheinend normales, da die Wachstumszunahme durchschnittlich 14 mm betrug.

Wurde dieses Salz in 1 %iger Lösung nach „Methode II" dargeboten, so waren von 12, 10 Wurzeln der Lösung zugewendet, 2 hingegen gerade weiter gewachsen. Betrug die Konzentration 0,1 %, so konnte noch an 9 von 12 untersuchten Wurzeln eine schwache positive Krümmung festgestellt werden.

w) Harnsaures Kali $C_5H_3KN_4O_3$.

Die Versuche mit einer 0,01 und einer 0,1 %igen Lösung verliefen völlig wirkungslos. Ebensowenig traten irgendwelche Krümmungserscheinungen ein, wenn eine 1 %ige Lösung dieses Salzes den Wurzeln nach „Methode I" dargeboten wurde. Abnormal war die Bildung eigentümlicher Verdickungen, welche sich bei den Versuchen mit einer 0,01 %igen Lösung des harnsauren Salzes einstellten, bei Versuchen mit stärkeren Lösungen aber nicht mehr in die Erscheinung traten. Das Wachstum war in allen drei Fällen ein gutes; die an je 6 Wurzeln gemessene Zunahme betrug 15 bzw. 12 bzw. 11 mm.

Wurde dieses Salz in einer 1 %igen Lösung nach „Methode II" dargeboten, so wendeten sich dieser Lösung von 12 untersuchten, 9 Wurzeln zu, während 3 gerade weiter wuchsen. Gegenüber einer 0,1 %igen Lösung dieses Salzes war das Empfindungsvermögen der Lupinenwurzel geschwunden, denn von 12 untersuchten Wurzeln hat keine einzige reagiert.

4. Lithiumsalze.

Die Versuche mit Lithiumsalzen boten mit Rücksicht auf deren chemische Verwandtschaft mit den Salzen des Ammons, des Natrons und Kalis besonderes Interesse. Die Versuche, welche mit dem Chlorid und Karbonat angestellt wurden, zeigten, daß

sich die *Lupinus*-Wurzel denen gegenüber genau so verhielt, wie gegenüber den entsprechenden Salzen der vorerwähnten Alkalien, mit dem Unterschiede jedoch, daß die Lithiumsalze in höherem Grade tötend wirkten.

a) Lithiumchlorid LiCl.

Eine 0,1 und eine 1 %ige Lösung wirkten, nach „Methode I" angewendet, tötend.

Nach „Methode II" wirkte bereits eine 0,1 %ige Lösung in hohem Grade repulsiv, denn sämtliche 12 untersuchten Wurzeln waren von dieser Lösung unter stark ausgeprägten Krümmungserscheinungen abgewendet. Trat anstelle der 0,1 %igen Lösung eine Lösung, welche 1 % dieses Salzes enthielt, so waren nur die auf einer Entfernung von 3—5 cm wachsenden Wurzeln abgewendet, während die näher wachsenden anscheinend durch das schnell diffundierende Salz, ohne merklich weiter gewachsen zu sein, abgetötet waren. Auch die weiter gewachsenen und abgewendeten waren abgestorben; bei diesen scheint aber der Tod, erst nachdem die Krümmung stattgefunden hat, eingetreten zu sein.

b) Lithiumkarbonat Li_2CO_3.

Auch dieses Salz wirkte nach „Methode I" angewendet, in einer 0,1 und in einer 1 %igen Lösung tötend.

Nach „Methode II" dargeboten, rief eine 0,1 %ige Lösung und in noch höherem Maße eine 1 %ige Lösung sehr scharf ausgeprägte positive Krümmungen hervor. Im letzteren Falle haben ebenfalls nur die entfernteren Wurzeln die Krümmungen ausgeführt, während die näher der Salzlösung wachsenden abgestorben waren. Auch hier waren die entfernteren abgestorben, aber anscheinend ebenfalls erst, nachdem sie zuvor die Krümmung ausgeführt hatten.

5. Magnesiumsalze.

Von den Magnesiumsalzen untersuchte ich näher die Wirkung des Chlorids, des Jodids, des Karbonats, des salpetersauren, schwefelsauren Magnesiums, des Magnesiumhypophosphats und des phosphorsauren Magnesiums. Auf seine chemotropische Wirkung ist bisher meines Wissens nur das Magnesiumsulfat und zwar von Miyoshi[1]) untersucht worden, und wirkte dieses Salz auf Pilze abstoßend.

Mit Ausnahme des Phosphats wirkten die oben angeführten Salze auf die *Lupinus*-Wurzel in höherem oder geringerem Grade repulsiv.

a) Magnesiumchlorid $MgCl_2$.

Gegenüber einer 0,1 und einer 1 %igen, nach „Methode I" dargebotenen Lösung dieses Salzes, verhielten sich je 8 untersuchte Wurzeln völlig indifferent. Der Wachstumszuwachs war gering, er betrug 12 bezw. 8 mm.

[1]) Miyoshi: l. c.

Unter Anwendung der „Methode II“ wirkte bereits eine 0,1 %ige Lösung repulsiv, von 12 untersuchten Wurzeln waren 9 abgewendet, 3 dagegen gerade gewachsen. Stieg die Konzentration auf 1 %, so waren von 12 untersuchten 11 Wurzeln von der Lösung weggekrümmt, während eine am entferntesten wachsende derselben zugewendet war.

b) Magnesiumjodid MgJ_2.

Das Verhalten von je 6 *Lupinus*-Wurzeln gegenüber einer 0,1 und einer 1 %igen Lösung war ein indifferentes, wenn dieses Salz in einem Gelatineblock nach „Methode I“ dargeboten wurde.

Dagegen trat eine ausgesprochene repulsive Wirkung ein, wenn eine 1 %ige Lösung desselben in das nach „Methode II“ in der Gelatine ausgestochene Loch eingefüllt wurde. Von 12 untersuchten Wurzeln waren hier 11 abgewendet, während sich eine indifferent verhielt. Sank die Konzentration auf 0,1 %, so verhielten sich die Wurzeln indifferent und waren gerade weiter gewachsen, während bei einer Konzentration von 0,01 % von 10 Wurzeln 8 unter schwacher Krümmung auf die Lösung zuwuchsen. Somit wirkte dieses Salz in einer 0,01 %igen Lösung attraktiv, in einer 1 %igen Lösung repulsiv, während eine 0,1 %ige Lösung gar keine Reizerscheinung hervorgerufen hat.

c) Magnesiumkarbonat $MgCO_3$.

Gegenüber Lösungen, welche 0,01, 0,1 und 1 % dieses Salzes enthielten, verhielten sich je 6 Wurzeln nach „Methode I“ und je 10 nach „Methode II“ untersuchte Wurzeln völlig indifferent.

d) Magnesiumnitrat $Mg(NO_3)_2$.

Befanden sich je 6 Wurzeln zwischen 2 Gelatineblöcken, von denen der eine 0,01, 0,1 bezw. 1 % von diesem Salz enthielt, so war das Verhalten derselben ein indifferentes. Sie wuchsen gut, denn die an denselben durch Messungen festgestellte Wachstumszunahme betrug im Mittel 18 bezw. 16 bezw. 12 mm.

Eine stark ausgeprägte Abwendung von 10 von 12 untersuchten Wurzeln trat ein, wenn eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes nach „Methode II“ dargeboten wurde. Von 12 untersuchten Wurzeln krümmten sich 11 sehr stark von der Lösung weg, wenn dieselbe eine 1 %ige war.

e) Magnesiumsulfat $MgSO_4$.

Wurden nach „Methode I“ 0,01, 0,1 und 1 %ige Lösungen dieses Salzes dargeboten, so trat gar keine Reaktion ein. Das Wachstum war ein vorzügliches, denn die an je 6 Wurzeln festgestellte Zunahme betrug im Durchschnitt 22 bezw. 21 bezw. 19 mm.

Nach „Methode II“ dargeboten, rief bereits eine 0,1 %ige Lösung eine stark repulsive Wirkung hervor, denn von 20 untersuchten Wurzeln waren 14 weggekrümmt, 4 verhielten sich indifferent, während 2 am weitesten befindliche seitliche Krüm-

mungen ausgeführt haben. In einem anderen Falle waren sämtliche 20 Wurzeln weggekrümmt.

f) Magnesiumhypophosphat MgH_2PO_2.

Von diesem Salze wandte ich nach „Methode I“ eine 0,1 und eine 1 %ige Lösung an. Im ersteren Falle verhielten sich 6 Wurzeln indifferent und waren gut gewachsen, im zweiten waren von 6 untersuchten, 3 Wurzeln in den anderen Gelatineblock eingewachsen. Das Wachstum war hier schwächer, denn die Zunahme betrug 8 mm weniger wie im ersteren Falle.

Daß diese letztere Erscheinung auf eine repulsive Wirkung zurückzuführen sei, zeigten Versuche nach „Methode II“; denn, als in einem Falle eine 0,1 %ige Lösung und im anderen Falle eine 1 % Lösung dieses Salzes dargeboten wurde, waren jedesmal sämtliche untersuchten 10 Wurzeln von der Lösung stark weggekrümmt.

g) Magnesiumphosphat $Mg_3(PO_4)_2$.

Von diesem schwer löslichen Salze wurden in der wässrigen 6 %igen Gelatinelösung Mengen suspendiert, welche einem Gehalte von 0,1 und 1 % entsprachen. In beiden Fällen waren bei gutem Wachstum, jedoch unter mäßiger Krümmung, in diesen Block 3 bezw. 5 Wurzeln eingewachsen.

Zum Zwecke der Untersuchung der Wirkung dieses Salzes nach „Methode II“ wurden in das in der Gelatine ausgestochene Loch etwa 20 ccm destilliertes Wasser und 0,02 bezw. 0,2 g dieses Salzes getan. Das unlösliche Salz setzte sich zu Boden. Im ersten Falle waren von 12 untersuchten, 7, im zweiten Falle von ebenso vielen, 11 Wurzeln gegen dieses Salz gekrümmt, und zwar waren die Krümmungen gegen das in dem ausgestochenen Loch am Boden sitzende Salz gerichtet. Diesem Salze ist somit eine attraktive Wirkung zuzuschreiben.

6. Kalksalze.

Von den Kalksalzen untersuchte ich näher die Wirkungen des Kalkhydrats, des Chlorkalziums, des salpetersauren, kohlensauren, einbasisch-phosphorsauren, phosphorsauren und essigsauren Kalkes. Über die chemotropischen Wirkungen der Kalksalze liegen bisher meines Wissens nur die von Miyoshi[1] angestellten Versuche mit salpetersaurem Kalk vor. Dieser wirkte auf Pilze repulsiv.

Mit Ausnahme des kohlensauren Kalkes, demgegenüber sich die *Lupinus*-Wurzel durchaus indifferent verhielt, erwies sich dieselbe durch die übrigen Kalksalze zum Teil positiv, zum Teil dagegen negativ chemotropisch reizbar.

a) Kalkhydrat $Ca(OH)_2$.

Da die Bereitung eines Kalkhydrat enthaltenden Gelatineblocks Schwierigkeiten bereitete, indem die in einer schwachen

[1] Miyoshi: l. c.

Kalkhydratlösung aufgelöste Gelatine nicht, bezw. nur sehr schwer zum Erstarren zu bringen war, beschränkte ich mich darauf, die Wirkung dieser stark ätzenden Verbindung in der Anordnung nach „Methode II“ zu untersuchen. Es stellte sich hierbei heraus, daß dieses Hydrat in einer 0,1 %igen Lösung sehr starke negative chemotropische Krümmungen der *Lupinus*-Wurzeln hervorrief. 12 näher untersuchte Wurzeln waren von der Lösung des Kalkhydrats ausnahmslos stark abgewendet, und die Wirkung des Kalziumhydroxyds war diesbezüglich derjenigen des Natron- und Kalihydroxyds ähnlich. Ein solches Verhalten der Wurzel gegenüber diesen stark alkalisch reagierenden Stoffen ist verständlich, wenn man die ätzende Wirkung derselben und ihre Schädlichkeit für die Wurzel berücksichtigt.

b) Chlorkalzium $CaCl_2$.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber einer in einem Gelatineblock dargebotenen 0,01 und 0,1 %igen Lösung dieses Salzes war ein völlig indifferentes. Wurde aber die Konzentration auf 1 % gebracht, so waren von 6 untersuchten, 5 Wurzeln deutlich gegen den andern Gelatineblock gekrümmt, während eine in denselben eingewachsen war. Eine schädliche Wachstumsbeeinflussung konnte nicht festgestellt werden.

Schon bei einer Konzentration von 0,1 % machte sich dagegen eine äußerst starke abstoßende Wirkung bemerkbar, wenn dieses Salz nach „Methode II“ dargeboten wurde. Die negativ chemotropischen Krümmungen waren viel intensiver als die durch Kochsalz hervorgerufenen. Sämtliche 12 untersuchten Wurzeln waren stark abgewendet und ausgezeichnet gewachsen. Der Krümmungswinkel betrug 70—90°.

c) Kalziumkarbonat $CaCO_3$.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber diesem Salze war bei sehr gutem Wachstum sowohl unter Anwendung von „Methode I“ als auch von „Methode II“ ein durchaus indifferentes. Dieses Salz scheint somit bei den gewählten Versuchsanordnungen keinen chemotropischen Reiz auf die *Lupinus*-Wurzel auszuüben. Untersucht wurden im ganzen 24 Wurzeln und zwar 12 nach „Methode I“ und ebensoviel nach „Methode II“. In beiden Fällen wurden in der Gelatinelösung bezw. in destilliertem Wasser Mengen dieses Stoffes suspendiert, welche einem Gehalt von 0,1 und 1 % entsprachen.

d) Kalziumnitrat $Ca(NO_3)_2$.

Während dieses Salz in einer 0,1 und 1 %igen Lösung nach „Methode I“ angewendet, ohne Wirkung blieb, riefen gleich starke Lösungen desselben bei der Anordnung nach „Methode II“ starke repulsive Wirkungen hervor. Sämtliche untersuchten 16 Wurzeln waren schon bei einer Konzentration von 0,1 % abgewendet, so daß eine repulsive Wirkung dieses Salzes bei einer Konzentration von 0,1 und 1 % anzunehmen ist, zumal auch im letzteren Falle sämtliche untersuchten 12 Wurzeln sich von der dargebotenen Lösung dieses Salzes abgewendet haben.

e) Basisches Kalziumphosphat $3CaO.2P_2O_5$.

Eine Wirkung dieses Salzes in einer 0,1 %igen Lösung gemäß „Methode I" war nicht festzustellen gewesen. Bei einer 1 %igen Lösung dagegen war die Wirkung insofern eine repulsive, als von 12 untersuchten Wurzeln 8 gegen den anderen nur destilliertes Wasser und Gelatine enthaltenden Block gekrümmt und 2 in denselben eingewachsen waren.

Mehr zum Ausdruck kam diese abstoßende Wirkung bei Anwendung der „Methode II", indem dabei eine 0,01 und eine 0,1 %ige Lösung und in noch höherem Grade eine 1 %ige Lösung dieses Salzes sehr stark ausgeprägte Abwendungen hervorgerufen haben.

f) Trikalziumphosphat $Ca_3(PO_4)_2$.

Bevor die zum Zwecke der Herstellung des Gelatineblocks gemäß „Methode I" bereitete Gelatinelösung erstarrte, wurden in derselben 0,1 und 1 % von diesem tertiären Kalksalz suspendiert. Während das Verhalten der Wurzel im ersteren Falle ein indifferentes war, wuchsen im zweiten Falle von 8 untersuchten, 6 Wurzeln in diesen Block ein. 2 Wurzeln waren gegen diesen Block sichtbar gekrümmt.

Daß diesem Salze eine positive chemotropische Wirkung zuzuschreiben ist, stellte sich bei der Untersuchung nach „Methode II" und ihren sämtlichen Modifikationen und ebenso bei der Untersuchung nach „Methode III" heraus. In den ersteren Fällen waren bereits bei Darbietung von geringen, 0,1 % nicht übersteigenden Mengen dieses Salzes sowohl in der Gelatine als auch im Sande starke positive Krümmungen eingetreten, und zwar reagierten von 36 Wurzeln 32 auf dieses Salz. Bei Anwendung von „Methode III", nach welcher 5 Wurzeln untersucht worden sind, wuchsen auf das einige Körnchen dieses Salzes enthaltende Sandfeld, 3 Wurzeln zu.

g) Kalziumazetat $(CH_3COO)_2Ca$.

Dieses Salz wirkte genau so wie das essigsaure Ammon, das essigsaure Natron und das Kaliazetat in hohem Grade giftig. Sämtliche Wurzeln wurden bereits durch 0,001 %ige Lösungen sowohl bei Anwendung der „Methode I" als auch bei Anwendung der „Methode II" abgetötet.

7. Baryumsalze.

Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber den Baryumsalzen bot nur mit Rücksicht auf die Feststellung Interesse, ob sich die Wurzel gegenüber denselben ähnlich verhalten werde, wie gegenüber den vorbesprochenen, nahe verwandten Kalkverbindungen. In der Natur befindet sich bekanntlich das Baryum für gewöhnlich nicht in Pflanzen, doch wurde es in einzelnen Fällen nachgewiesen[1]).

[1]) Forchhammer: Annalen d. Physik und Chemie 1855, Bd. 95, S. 84. Boedecker und Eckhardt: Annalen der Chemie und Pharm. 1856, Bd. 100, S. 294.
Dworzak: Versuchsstationen 1875, Bd. 17, S. 398.

Von den Baryumsalzen verwendete ich für meine Versuche nur das Baryumchlorid ($BaCl_2$) und das Baryumnitrat $Ba(NO_3)_2$ und fand, daß sich die Lupinenwurzel beiden gegenüber genau so verhielt, wie gegenüber dem Chlorkalzium und Kalziumnitrat.

Von einem 1 % Chlorbaryum enthaltenden Block wandten sich alle 6 untersuchten Wurzeln ab. 4 von denselben waren sogar in den anderen Block eingewachsen. Wurde eine 0,1 oder eine 1 %ige Lösung desselben nach „Methode II" dargeboten, so trat ausnahmslos eine sehr stark ausgeprägte Abwendung der Wurzeln ein.

Nach „Methode I" angewandt, übte das Nitrat selbst in 1 %iger Lösung gar keine Wirkung aus, setzte aber das Wachstum stark herab. Nach „Methode II" rief es in ebenso starker Konzentration eine sehr starke repulsive Wirkung hervor.

8. Eisensalze.

Von den Eisensalzen verwendete ich für meine Versuche die folgenden: Eisenchlorid, Eisennitrat, Ferrosulfat, Ammoniumferrosulfat, Eisenoxydulphosphat, Eisenoxydphosphat, tertiäres Eisenphosphat und gelbes und rotes Blutlaugensalz. Das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel den beiden letzteren gegenüber wurde bereits unter 3.) bei der Besprechung der Wirkung der Kalisalze erwähnt.

Meines Wissens ist bisher nur die chemotropische Wirkung des Eisenchlorids und zwar von Miyoshi[1]) für Pilze untersucht worden. Miyoshi hat festgestellt, daß das Eisenchlorid bei Pilzen Repulsionswirkungen hervorgerufen hat. Wie sich aus Nachstehendem ergibt, ist auch die *Lupinus*-Wurzel durch Eisensalze in hohem Grade chemotropisch und zwar durch einige positiv, durch andere negativ chemotropisch reizbar.

a) Eisenchlorid Fe_2Cl_6.

Wurden 0,1 und 1 %ige Lösungen dieses Salzes in einem Gelatineblock nach „Methode I" dargeboten, so riefen dieselben schon innerhalb kurzer Zeit große Schädigungen der Wurzeln hervor. Bei der 1 %igen Lösung, welche sehr starke, als Schädigungskrümmungen erkannte Reizerscheinungen hervorgerufen hat, trat nach etwa 6stündiger Versuchsdauer der Tod ein. Gegenüber einer 0,01 %igen Lösung verhielten sich 6 Wurzeln indifferent.

Daß dem Eisenchlorid aber eine starke repulsive Wirkung zuzuschreiben ist, stellte sich bei den Versuchen nach „Methode II" mit einer 0,1 und einer 1 %igen Lösung heraus. Im ersteren Falle waren sämtliche 12 untersuchten Wurzeln von der Lösung stark abgewendet; im zweiten Falle wandten sich 6 in einer Entfernung von 1 und 2 cm gewachsene Wurzeln derselben zu und waren tot, während die übrigen 6 weiterwachsenden abgewendet, aber ebenfalls

[1]) Miyoshi: l. c.

abgestorben waren. Die zugewandten Wurzeln waren hakenförmig gekrümmt und es konnte aus dem Charakter dieser Krümmung geschlossen werden, daß dieselbe eine Schädigungskrümmung war und durch das rasch hindurchdiffundierende Salz, welches die Wurzel abtötete, hervorgerufen wurde. Daß die abgewandten Wurzeln ebenfalls abgestorben waren, ist leicht erklärlich. Bevor das diffundierende Salz dieselben erreichte, haben sie der ihnen drohenden Gefahr durch Abwendung zu entgehen gesucht und sind erst nach erfolgter Krümmung durch das inzwischen hindurchdiffundierte Salz erreicht und abgetötet worden.

b) Eisennitrat $Fe(NO_3)_2$.

Ebenso wie eine 1 %ige Eisenchloridlösung wirkte auch eine 1 %ige Eisennitratlösung totbringend und rief starke Schädigungskrümmungen hervor. In gleicher Weise wirkte eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes, während sich sämtliche Lupinenwurzeln gegenüber einer 0.01%igen Lösung desselben völlig indifferent verhielten.

Nach „Methode II" waren, wenn eine 0,1 %ige Lösung oder eine 1 %ige Lösung dargeboten wurde, sämtliche untersuchten je 20 Wurzeln von derselben abgewendet. Im letzteren Falle waren aus den bereits oben erwähnten Gründen 5 nahe wachsende Wurzeln der Lösung zugewendet und abgestorben.

c) Ferrosulfat $FeSO_4$.

Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes wirkte tötend, eine 0,1 %ige Lösung blieb wirkungslos, wenn beide nach „Methode I" dargeboten wurden.

Befand sich in dem in Gelatine ausgestochenen Loch eine 0,01 %ige Lösung dieses Salzes, so waren von 12 untersuchten Wurzeln, 9 derselben schwach zugewendet; hingegen wandten sich sämtliche 12 Wurzeln ab, wenn anstelle der 0,1 %igen eine 1 %ige Lösung trat.

Es ist daraus zu schließen, daß das Ferrosulfat in sehr verdünnten Lösungen attraktiv, in stärkeren Lösungen repulsiv wirkt.

d) Ammoniumferrosulfat $FeSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + CH_2O$.

Das Verhalten von je 6 *Lupinus*-Wurzeln gegenüber einer 0,1 und einer 1 %igen Lösung dieser Verbindung war ein indifferentes. Das Wachstum wurde durch dieses Salz stark gehemmt, da die an je 10 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme im ersten Falle 10, im zweiten nur 6 mm betrug.

Wurde dieses Salz aber nach „Methode II" in einer 0,1 und einer 1 %igen Lösung dargeboten, so haben sich die Wurzeln in beiden Fällen der aus dem Loch in die Gelatine diffundierenden Lösung schwach zugewendet. Im ersten Falle waren es von 12 untersuchten 8, im zweiten 10 Wurzeln, welche nach Ausführung einer schwachen Krümmung auf die Lösung zuwuchsen.

e) Eisenoxydulphosphat $Fe_3(PO_4)_2$.

Ohne das Wachstum der Wurzeln wesentlich zu hemmen, blieb eine 0,1 und eine 1 %ige Lösung dieses Salzes sowohl nach „Methode I" als nach „Methode II" wirkungslos.

f) Eisenoxydphosphat $Fe_2(PO_4)_2$.

Auch diesem Salze gegenüber verhielten sich 12 *Lupinus*-Wurzeln indifferent, wenn dasselbe in einem Gelatineblock nach „Methode I“ dargeboten wurde. Wurde hingegen in das in Gelatine ausgestochene Loch von diesem Salze und von destilliertem Wasser soviel getan, daß die Menge des Salzes, auf das destillierte Wasser berechnet, einem Prozentgehalt von 0,1 bzw. 1 % entsprach, so wuchsen in beiden Fällen die untersuchten 10 bzw. 14 Wurzeln auf das Salz zu, sodaß demselben eine positive chemotropische Wirkung zuzuschreiben ist.

9. Aluminiumsalze.

Von den Tonerdesalzen untersuchte ich nur die Wirkung des Aluminiumchlorids, des Aluminiumsulfats und des Aluminiumnitrats.

a) Aluminiumchlorid Al_2Cl_6.

Das Aluminiumchlorid wirkte, in Lösungen von 0,1 und 1 % angewandt, sehr stark wachstumshemmend. Von je 6 untersuchten Wurzeln waren im ersten Falle 3 in den Block mit destilliertem Wasser eingewachsen, während die übrigen drei in den dieses Salz enthaltenden Block unter starken hakenförmigen Krümmungen hineingewachsen und abgestorben waren. Im zweiten Falle waren alle 6 Wurzeln fast gar nicht gewachsen, hakenförmig gegen den das Salz enthaltenden Block gekrümmt und tot.

Nach der zweiten Methode angewandt, wirkte das Chlorid in hohem Grade repulsiv. Sowohl eine 0,1 als auch eine 1 %ige Lösung riefen starke abstoßende Wirkungen hervor. In ersterem Falle wandten sich sämtliche untersuchten 12 Wurzeln ab, im zweiten waren die 5 am nächsten wachsenden gegen die Salzlösung gekrümmt und aus den bereits bei der Besprechung der Wirkung des Eisenchlorids erwähnten Gründen abgestorben. Die übrigen waren von der Lösung abgewendet.

b) Aluminiumsulfat $Al_2(SO_4)_3$.

Eine 1 %ige Lösung von Aluminiumsulfat wirkte genau so, wie eine gleich starke Lösung von Ferrosulfat, tötend. Hingegen verhielten sich sämtliche untersuchten 6 Wurzeln einer 0,1 %igen Lösung gegenüber, wenn beide nach „Methode I“ dargeboten wurden, völlig indifferent.

Befand sich in dem in der Gelatine ausgestochenen Loch eine 0,01 oder eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes, so waren von 12 untersuchten Wurzeln im ersteren Falle 10, im zweiten Falle hingegen sämtliche von der Lösung abgewendet. Desgleichen, wenn die Konzentration 1 % betrug.

Es ist hieraus zu entnehmen, daß das Aluminiumsulfat sowohl in stark verdünnten als auch in konzentrierten Lösungen repulsiv wirkt. In seiner Wirkung unterscheidet es sich von

Ferrosulfat dadurch, daß letzteres in stark verdünnten Lösungen eine schwach anlockende Wirkung hatte.

c) Aluminiumnitrat $Al_2(NO_3)_6$.

Das Aluminiumnitrat rief in einer 1 %igen Lösung starke, gegen den dasselbe enthaltenden Block gerichtete Krümmungen von 12 Wurzeln hervor. Diese sind der Schädigung zuzuschreiben. Eine 0,01 %ige Lösung blieb ohne Wirkung, während, als der Block 0,1 % von diesem Salz enthielt, alle 6 untersuchten Wurzeln dem anderen Block zugewendet und teilweise in denselben eingewachsen waren. An je 6 Wurzeln vorgenommene Messungen ergaben, daß auch dieses Salz auf das Wachstum stark hemmend wirkt. Die Zunahme betrug im Durchschnitt bei einer 0,01 %igen Lösung 16 mm, sank bei einer 0,1 %igen auf 8 und bei einer 1 %igen Lösung auf 3 mm.

Wurden nach „Methode II" 0,01 und 1 %ige Lösungen dieses Salzes dargeboten, so waren sämtliche untersuchten Wurzeln abgewendet. In einem Falle, als die Konzentration 1 % betrug, waren 5 der Lösung am nächsten wachsende Wurzeln derselben zugewendet und tot.

10. Kupfersalze.

Wiewohl es höchst selten vorkommen kann, daß die Pflanze in der Natur auf Kupfersalze stößt und in die Lage kommt, falls sie durch diese Salze chemotropisch reizbar ist, auf dieselben zu reagieren, bot die Untersuchung über das Verhalten der *Lupinus*-Wurzel gegenüber den in hohem Grade giftigen Kupfersalzen ein großes Interesse.

Durch die vorbeschriebenen Untersuchungen ist es festgestellt worden, daß die *Lupinus*-Wurzel durch Verbindungen von ihr nützlichen Elementen positiv oder negativ chemotropisch reizbar ist. Die Empfindlichkeit der Wurzel gegenüber den Verbindungen der Alkalien, der Erdalkalien, gegenüber den Eisen- und Aluminiumsalzen war mit geringen Ausnahmen keine allzugroße, und so war es denn zu erwarten, daß in anbetracht der äußerst starken Giftigkeit der Kupfersalze, von denen, wie Hattori[1]) feststellte, z. B. das Kupfersulfat bereits in einer Konzentration von 0,0005 bzw. 0,000005 % Erbsen- und Maiskeimlinge abtötet, die *Lupinus*-Wurzel bereits gegenüber sehr geringen Mengen derselben empfindlich sein wird. Aus demselben Grunde wurden auch Blei-, Zink-, Quecksilber-, Kobalt-, Nickel- und Mangansalze zu den Versuchen herangezogen, zumal ich gerade durch die Versuche mit diesen Salzen nachweisen konnte, daß die von Newcombe und Rhodes angewandte Methode große Fehlerquellen enthält und zur Feststellung der chemotropischen Reizbarkeit der Wurzel ungeeignet ist.

Ich schicke hier voraus, daß die vorerwähnten Salze, nach „Methode I" angewandt, mit ganz geringen Ausnahmen Krümmungen der Wurzel nach den diese Stoffe enthaltenden

[1]) Hattori: Bot. Zeitung 1899. Bd. 80. S. 171.

Gelatineblöcken hervorgerufen haben, welche aber sämtlich als Schädigungskrümmungen erkannt wurden, und deren Charakter aus Figur 20 ersichtlich ist. Die durch diese photographische Aufnahme veranschaulichten Krümmungen sind durch Kupferchlorid hervorgerufen worden. Ohne bzw. fast ohne weiter gewachsen

Fig. 20.

zu sein, krümmten sich die Wurzeln an der Spitze unter der schädigenden Wirkung dieser Salze hakenförmig und starben bald ab. Von den in Figur 21 veranschaulichten 9 Wurzeln zeigen die drei ersten durch Kupfernitrat, die 6 folgenden durch Ammonphosphat hervorgerufene Krümmungen, welche schon auf den ersten Blick bezüglich ihres Charakters große Unterschiede aufweisen.

Wurden hingegen diese sämtlichen Salze nach „Methode II“ oder „III“ angewandt, so trat schon bei starker Verdünnung eine

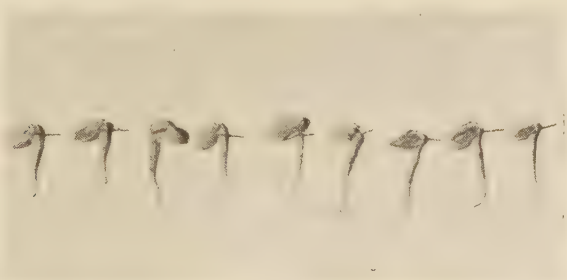


Fig. 21.

ausgeprägte abstoßende Wirkung ein, indem sich die untersuchten Wurzeln ausnahmslos von dem in die Gelatine oder in den Sand diffundierenden Stoff wegkrümmten.

Von den Kupfersalzen untersuchte ich näher die Wirkung des Chlorids, des Nitrats, des Sulfats und des Azetats.

a) Kupferchlorid $CuCl_2$.

Eine 1 %ige und ebenso eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes in einem Gelatineblock, nach „Methode I“ angewandt, wirkten

auf das Wachstum zumindest der dem Gelatineblock anliegenden Wurzelseite in sehr hohem Grade hemmend. Eine Wachstumszunahme konnte in ersterem Falle überhaupt nicht festgestellt werden, während sie bei Anwendung einer 0,1 %igen Lösung kaum 12 mm betrug. Von 12 untersuchten Wurzeln waren in beiden Fällen sämtliche hakenförmig gekrümmt und in diesen Block eingewachsen und im Absterben begriffen: sie gediehen nach Beendigung der Versuche in einer Wasserkultur nicht.

Wurde die Wirkung dieses Salzes in der Anordnung nach „Methode II" untersucht, so rief bereits eine 0,001 %ige Lösung negativ chemotropische Krümmungen hervor. Diese konnten an 7 von 12 untersuchten Wurzeln festgestellt werden. Stieg die Konzentration auf 0,01 % und darüber, so waren bei dieser von 12 untersuchten Wurzeln 10 abgewendet, während bei einer Konzentration von 0,1 und 1 % sämtliche untersuchten 20 Wurzeln sehr stark weggekrümmt und von der Richtung, in welcher sich die Salzlösung befand, abgewendet waren. Der Krümmungswinkel betrug in letzterem Falle ca. 90°.

b) Kupfernitrat $Cu(NO_3)_2$.

Der Wachstumsverlauf bei Darbietung dieses Salzes nach „Methode I" ist aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich.

Sowohl bei einer Konzentration von 0,01 als auch bei einer solchen von 0,1 und 1 % traten starke Krümmungen gegen den das salpetersaure Kupfer enthaltenden Block ein. Wie aus dem Verhalten der Wurzel 2 in der zweiten Kolumne (0,1 %ige Lösung) und aus dem Verhalten sämtlicher Wurzeln der Tabelle 3 (1 %ige Lösung) ersichtlich ist, traten die Krümmungen 2 bzw. 3 mm, bei der Wurzel 2 der Tabelle 3 sogar 5 mm unterhalb der Wurzelspitze, auf die ursprüngliche Wachstumslänge bezogen, ein, sodaß schon dieser Umstand allein besagt, daß die Krümmungen nicht einem chemotropischen, sondern einem Schädigungsreiz zuzuschreiben sind. Bei einer 0,001 %igen Lösung trat gar keine Krümmung ein. Der Zuwachs betrug, an 6 Wurzeln gemessen, im letzten Falle im Durchschnitt 18 mm.

Konzentrat.	0,01 %				0,1 %				1 %			
Wurzel Nr.	a	k	e	z	a	k	e	z	a	k	e	z
1	27	30	33	6	26	24	27	1	25	22	25	0
2	32	33	35	3	24	24	26	2	25	20	25	0
3	30	33	36	6	24	24	28	4	26	23	27	1
4	30	30	34	4	28	28	31	3	27	25	27	0
5	29	32	34	5	21	22	24	3	26	24	27	1
6	33	33	33	0	21	21	23	2	23	20	23	0
Im Durchschnitt:	30,1	31,8	34,1	4	24	23,8	26,5	2,5	25,3	22,3	25,6	0,3

Diesen Resultaten gegenüber haben die Versuche nach „Methode II" gezeigt, daß die *Lupinus*-Wurzel schon durch eine

Lösung von 0,001 % dieses Salzes negativ chemotropisch gereizt wird, denn von 10 untersuchten waren 6 Wurzeln abgewendet, während sich, als die Konzentration auf 1 % anstieg, sämtliche unter-suchten 20 Wurzeln sehr stark von der Richtung, in welcher dieses Salz dargeboten wurden, abwandten und stark ausgeprägte negativ chemotropische Krümmungen ausgeführt haben. Dieselbe Erscheinung trat ein, wenn als Nährboden Sand benutzt wurde, der von einer Gelatine umschlossen war, welche dieses Salz enthielt.

c) Kupfersulfat $CuSO_4$.

Gegenüber dem Kupfersulfat war die *Lupinus*-Wurzel viel empfindlicher als gegenüber dem Nitrat. Letzteres verursachte, nach „Methode I" angewandt, in einer 0,001 %igen Lösung gar keine Krümmungserscheinungen, während, wie es nachstehende Tabelle ergibt, sämtliche 6 untersuchten Wurzeln gegen den Kupfersulfat enthaltenden Block gekrümmt und in denselben eingewachsen waren. Nach Beendigung der Versuche gediehen die Keimlinge in einer Wasserkultur, wenn auch sehr langsam, weiter.

Konzentrat.	0,001 %				0,01 %				0,1 %			
Wurzel Nr.	a	k	e	z	a	k	e	z	a	k	e	z
1	25	36	40	15	25	31	36	11	27	25	29	2
2	19	20	27	8	27	34	36	9	19	18	21	2
3	20	20	27	7	29	31	36	7	18	20	21	3
4	19	21	31	12	29	30	40	11	16	12	16	0
5	19	20	29	10	27	30	35	8	16	13	17	1
6	17	19	31	14	27	30	34	7	18	16	20	2
Im Durchschnitt:	19,8	22,6	30,8	11.	27,3	31	36,1	8,8	19	17,3	20,6	1.6

Enthielt der eine der Gelatineblöcke eine 0,01 %ige oder eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes, so wurde das Wachstum sehr stark herabgesetzt, während eine 1 %ige Lösung tötend wirkte. In allen drei letztgenannten Fällen traten aber stark ausgeprägte Krümmungen gegen den dieses Salz enthaltenden Gelatineblock auf und zwar ebenfalls einige Millimeter unterhalb der Wurzelspitze auf die ursprüngliche Länge der Wurzel bezogen. Sämtliche durch dieses Salz hervorgerufenen Krümmungen sind, sofern dieselben unter Anwendung der „Methode I" eingetreten sind, lediglich einer Schädigung zuzuschreiben, da, wie aus Nachstehendem hervorgeht, bei Anwendung der „Methode II" eine Abwendung der Wurzeln stattfand.

Wurde nämlich dieses Salz in einer 0,001 %igen Lösung nach „Methode II" verwendet, so waren von 12 untersuchten, 7 Wurzeln abgewendet, während sich alle abwandten, wenn die Konzentration auf 0,01 und auf 0,1 % stieg. Von 20 Wurzeln, welchen nach „Methode II" eine 1 %ige Lösung des schwefelsauren Kupfers dargeboten wurde, wandten sich sämtliche ab, waren aber alle tot.

d) Kupferazetat $Cu(CH_3COO)_2$.

Von 6 Lupinenwurzeln, welche einem 0,001 % von diesem Salz enthaltenden Block anlagen und im Durchschnitt eine Wachstumszunahme von 12 mm zeigten, verhielten sich 5 indifferent, während eine schwach gegen den dieses Salz enthaltenden Block gekrümmt war. Betrug die Konzentration 0,01 %, so waren sämtliche 6 untersuchten Wurzeln stark hakenförmig gekrümmt und in den Block eingewachsen. Die Wachstumszunahme betrug im Durchschnitt 8,3 mm und sank auf 0,8 mm, wenn die Konzentration auf 0,1 % stieg. Auch in diesem letzteren Falle waren die Wurzeln sehr stark hakenförmig gekrümmt und in den Block eingewachsen. Die Krümmungen waren Schädigungskrümmungen und keine chemotropischen Reizerscheinungen. Eine 1 %ige Lösung des essigsauren Kupfers tötete alle 6 untersuchten Wurzeln innerhalb weniger Stunden ab.

Als eine 0,001 %ige Lösung dieses Salzes nach „Methode II" dargeboten wurde, krümmten sich von 10 untersuchten 7 Wurzeln weg, während bei einer Konzentration von 0,01 und 0,1 % alle 20 untersuchten Wurzeln von der Lösung dieses Salzes abgewendet und im letzteren Falle zum Teil abgetötet waren.

11. Bleisalze.

Von den Bleisalzen wurde die Wirkung des löslichen Nitrats und Azetats untersucht.

a) Bleinitrat $Pb(NO_3)_2$.

Eine 0,001 und eine 0,01 %ige Lösung des salpetersauren Bleies blieb bei mäßigem Wachstum, welches an je 6 Wurzeln gemessen, eine Zunahme von 11 bezw. 9 mm ergab, wirkungslos. Eine 0,1 %ige Lösung setzte das Wachstum etwas herab und rief sehr starke hakenförmige Krümmungen hervor. Alle 6 untersuchten Wurzeln waren in den dieses Salz enthaltenden Block eingewachsen. Die Wachstumszunahme betrug durchschnittlich 6 mm. Wurde eine 1 %ige Lösung verwendet, so traten ebenfalls an sämtlichen 12 Wurzeln hakenförmige Krümmungen auf. Eine Wachstumszunahme konnte nicht festgestellt werden, die Wurzelspitzen waren tiefbraun gefärbt, die Wurzeln im Absterben begriffen und gediehen in einer Wasserkultur nicht.

Durch eine 0,001, durch eine 0,01 und ebenso durch eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes erwiesen sich bei Anwendung der „Methode II" sämtliche Wurzeln negativ chemotropisch reizbar, denn alle untersuchten 14 bezw. je 12 Wurzeln waren von der ihnen dargebotenen Lösung dieses Salzes abgewendet. In noch höherem Grade trat dies ein, wenn die Konzentration 1 % betrug.

b) Bleiazetat $Pb(CH_3COO)_2$.

Eine 1 %ige Lösung dieses Salzes rief, nach „Methode I" angewendet, bei 12 Wurzeln sehr starke, gegen den dieses Salz enthaltenden Block gerichtete hakenförmige Krümmungen her-

vor. Diese sind aus Fig. 22 zu ersehen. Nach 6 Stunden waren sämtliche Wurzeln, deren Spitzen braunschwarz gefärbt, also in hohem Grade geschädigt waren, tot. Bei 5 von 6 untersuchten Wurzeln rief eine 0,01 %ige Lösung ähnliche, jedoch nicht so stark ausgeprägte Krümmungen hervor. Eine 0.001 %ige Lösung blieb wirkungslos. Bei den Versuchen mit einer 1 %igen Lösung war eine Wachstumszunahme nicht festzustellen; bei Versuchen mit einer 0,01 %igen und einer 0,1 %igen Lösung, welche ebenfalls starke Krümmungen hervorriefen und tötend wirkten, betrug die Wachstumszunahme, an je 6 Wurzeln gemessen, im Durchschnitt 14,5 bezw. 8,3 mm.

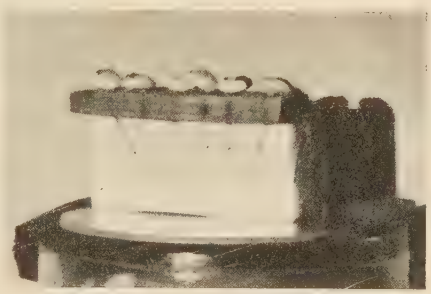


Fig. 22.

Wurde dieses Salz nach „Methode II" angewendet, so machte sich eine repulsive Wirkung desselben bereits bei einer Konzentration von 0,01 % bemerkbar, indem von 10 untersuchten, 6 Wurzeln abgewendet waren. Stieg die Konzentration auf 0,1 und 1 %, so waren sämtliche, in beiden Fällen je 12 untersuchte Wurzeln stark abgewendet; im letzteren Falle waren alle Wurzeln tot.

12. Zinksalze.

Von den Zinksalzen verwendete ich für meine Versuche das Chlorzink, das Zinknitrat und das Zinksulfat.

a) Chlorzink $ZnCl_2$.

In 1 %iger Lösung wirkt dieses Salz tötend, ruft aber starke gegen den das Salz enthaltenden Block gerichtete Krümmungen hervor. In einer 0,2 und 0,1 %igen Lösung angewendet, verursacht es ebenfalls hakenförmige Krümmungen, während eine 0,01 %ige Lösung desselben keinerlei Krümmungserscheinungen hervorruft. Die Wachstumszunahme betrug in letzterem Falle an 6 Wurzeln gemessen, im Durchschnitt 15,3 mm, sank bei einer Konzentration von 0,1 % auf 6 mm, bei einer solchen von 0,2 auf 2,7 mm, und bei einer Konzentration von 1 % war eine Wachstumszunahme überhaupt nicht mehr festzustellen. Sämtliche Wurzeln wiesen stark gebräunte Spitzen auf.

Wurde dieses Salz nach „Methode II" dargeboten, so waren, wenn die Konzentration 0,01, 0,1 oder 1 % betrug, alle Wurzeln (es wurden für jeden Konzentrationsgrad je 10 untersucht), von der Lösung abgewendet. In letzterem Falle waren sämtliche Wurzeln tot. Sie dürften nach ausgeführter Abwendung von dem diffundierten Salz getötet worden sein.

b) Zinknitrat $Zn(NO_3)_2$.

Dieses Salz wirkte sowohl in einer 0,01 als auch in einer 0,1 %igen Lösung schädigend. Im letzteren Falle und ebenso bei Darbietung einer 1 %igen Lösung waren sämtliche Wurzeln tot, in allen drei Fällen aber hakenförmig gegen den dieses Salz enthaltenden Block gekrümmt. Das Verhalten von 6 Wurzeln gegenüber einer 0,001 %igen Lösung war ein völlig indifferentes.

Nach „Methode II" rief bereits eine 0,001 %ige Lösung eine starke Abwendung aller untersuchten 11 Wurzeln hervor. Ebenso trat eine noch stärkere Abwendung aller Wurzeln ein, wenn die Konzentration auf 0,01 oder 0,1 % stieg. Stieg dieselbe auf 1 %, so waren ebenfalls alle untersuchten 12 Wurzeln abgewendet und auch sämtliche tot.

c) Zinksulfat $ZnSO_4$.

Schon eine 0,001 %ige Lösung dieses Salzes rief, nach „Methode I" angewendet, bei 6 Wurzeln starke gegen den dieses Salz enthaltenden Block gerichtete Krümmungen hervor. Diese Krümmungen wurden, wenn die Konzentration über 0,1 % auf 0,1 % stieg, hakenförmig. Bei Darbietung einer 1 %igen Lösung waren sämtliche untersuchten 12 Wurzeln, nachdem sie sich dem dieses Salz enthaltenden Block hakenförmig zugekrümmt hatten, tot.

Wurde eine 0,01 %ige Lösung dieses Salzes nach „Methode II" dargeboten, so waren sämtliche untersuchten 12 Wurzeln abgewandt. Stieg die Konzentration auf 0,01 %, so waren die Krümmungen schärfer ausgeprägt. Im letzteren Falle und ebenso bei Anwendung einer 1 %igen Lösung waren sämtliche Wurzeln tot.

13. Quecksilbersalze.

Von den äußerst giftigen Quecksilbersalzen wurden untersucht das Sublimat und das salpetersaure Quecksilberoxyd. Beide wirkten, in sehr verdünnten Lösungen nach „Methode II" angewendet, repulsiv, hingegen riefen sie nach „Methode I" in einem Gelatineblock der *Lupinus*-Wurzel dargeboten, sehr starke Schädigungskrümmungen hervor.

a) Quecksilbersublimat $HgCl_2$.

Dieser Stoff wirkte bereits in einer Konzentration von 0,0001 % tötend. Bei einer Konzentration von 0,001 % traten bereits stark ausgeprägte Krümmungen ein; das Wachstum war sehr schwach; die Zunahme betrug nur noch 3 mm und sank bei einer 0,1 %igen Lösung auf kaum 0,7 mm im Durchschnitt. Wurde eine 1 %ige Lösung verwendet, so trat der Tod schon nach einigen Stunden ein. Sämtliche Wurzeln waren aber sehr intensiv gegen den dieses Salz enthaltenden Block hakenförmig

gekrümmt. Dieses Verhalten wurde an 12 Wurzeln festgestellt.

Nach der „Methode II" rief bereits eine 0,00001 %ige Lösung dieses Salzes eine ausgesprochene repulsive Wirkung hervor. Von 12 untersuchten Wurzeln waren 11 von der Lösung abgewendet. Stärkere Lösungen, und die Wirkung dieses Salzes wurde auch in einer 0,001, 0,01, 0.1 und 1 %igen Lösung untersucht, riefen ebenfalls sehr starke repulsive Wirkungen hervor. Alle Wurzeln waren abgewendet, aber schon bei einer Konzentration von 0,01 % waren sie abgestorben.

b) Merkurinitrat $Hg(NO_3)_2$.

Auch diesem Quecksilbersalze gegenüber waren die *Lupinus*-Wurzeln sehr empfindlich, da bereits 0,0001 %ige Lösungen nach „Methode I" dargeboten, alle noch etwa im Durchschnitt um 6 mm gewachsene Wurzeln abtöteten. Stärkere Lösungen und zwar solche, welche 0,01, 0,1 und 1 % dieses Salzes enthielten, riefen die für alle vorerwähnten giftigen Stoffe charakteristischen Krümmungen und ebenso ausnahmslos den Tod der Wurzeln hervor.

Daß das salpetersaure Quecksilberoxyd ebenso wie das Sublimat repulsiv wirkt, zeigten die Versuche nach „Methode II", bei denen bereits bei einer Konzentration von 0,00001 % eine Abwendung von 9 unter 12 untersuchten Wurzeln stattfand. Stärkere Lösungen, und zwar bereits solche von 0,001 % wirkten tötend. Auch eine Lösung von 1 % rief negative Krümmungen der Wurzeln hervor, aber, kaum daß die Krümmung an der Wurzelspitze begann, waren sämtliche 20 untersuchten Wurzeln abgetötet worden.

14. Kobalt-, Nickel- und Mangansalze.

Nachdem durch die Versuche mit den Kupfer-, Zink-, Blei- und Quecksilbersalzen festgestellt wurde, daß diese Salze selbst in Konzentrationen, welche tötend wirken, nach „Methode I" angewendet, starke, der Schädigung zuzuschreibende Krümmungen hervorrufen, und da es vorauszusehen war, daß dieselbe Wirkung auch durch die Kobalt-, Nickel- und Mangansalze hervorgerufen werden dürfte, beschränkte ich mich hauptsächlich darauf, die Chloride und Nitrate dieser Metalle nur unter Anwendung der zuverlässigere Resultate ergebenden „Methode II" zu untersuchen. Für jedes Salz und jede Konzentration wurden 12 Wurzeln untersucht. Die Resultate, die ich erhielt, waren folgende:

a) Kobaltchlorid $CO\,Cl_2$ und Kobaltnitrat $CO(NO_3)_2$.

Beide Salze wirken in 0,01 %igen Lösungen tötend. Gegenüber schwächeren Lösungen verhielten sich die Lupinenwurzeln indifferent. Stieg die Konzentration auf 0,1 %, so waren sämtliche Wurzeln hakenförmig gekrümmt.

Nach der „Methode II" wirkten bereits Lösungen von 0,001 % schwach repulsiv, indem bei Kobaltnitrat von 12 unter-

suchten Wurzeln 9, bei Kobaltchlorid von ebensovielen 7 abgewendet waren. Viel intensiver war die repulsive Wirkung, wenn die Konzentration auf 0,01 und 0,1 % stieg. Im letzteren Falle waren sämtliche untersuchten Wurzeln abgewendet und tot.

b) Nickelchlorid $NiCl_2$ und Nickelnitrat $Ni(NO_3)_2$.

Diesen Salzen gegenüber verhielt sich die Lupinenwurzel genau so, wie gegenüber den vorbesprochenen Kobaltverbindungen. Bei einer Konzentration von 0,0001 % wandten sich bei Anwendung der „Methode II" von 12 untersuchten Wurzeln 6 von der Lösung dieses Salzes ab. Bei einer Konzentration von 0,001 % konnte ich 9 abgewendete Wurzeln zählen. Bei einer Konzentration von 0,01 % waren sämtliche Wurzeln abgewendet und tot.

c) Manganchlorid $Mn\,Cl_2$ und Mangannitrat $Mn(NO_3)_2$.

Das Manganchlorid übte in einer Konzentration von 0,001 % gar keine Wirkung aus, ebensowenig das Mangannitrat. Stieg die Konzentration auf 0,01, so wandten sich von 12 untersuchten Wurzeln 7 bezw. 8 ab, wenn in dem in der Gelatine ausgestochenen Loch eine Lösung von Manganchlorid bezw. Mangannitrat enthalten war. Hingegen waren von 12 untersuchten Wurzeln 11 bezw. 10 abgewendete tot, wenn die Konzentration des Chlorids und Nitrats 0,1 % betrug.

15. Säuren.

Bei der Untersuchung der chemotropischen Reizbarkeit der Lupinenwurzel durch Säuren, beschränkte ich mich nach einigen Vorversuchen, welche gezeigt haben, daß die Wurzel durch die noch näher anzugebenden und nach „Methode I" dargebotenen Säuren in hohem Grade und schon bei schwacher Konzentration geschädigt und getötet wird, auf die Anwendung der „Methode II".

Ich untersuchte näher das Verhalten der Wurzel gegenüber 0,0001, 0,001, 0,01 und 0,1 %igen Lösungen von Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Ameisensäure, Essigsäure, Zitronensäure, Apfelsäure und Weinsäure und erhielt die folgenden Resultate:

Sämtliche oben erwähnten Mineralsäuren wirkten bei Konzentrationen von 0,001, 0,01 und 0,1 % in hohem Grade repulsiv. Am stärksten war die abstoßende Wirkung bei Salzsäure, am schwächsten bei Phosphorsäure. Eine 0,0001 %ige Lösung der letzteren und eine ebenso starke Lösung von Schwefelsäure wirkten auffallenderweise schwach attraktiv, denn von je 10 untersuchten Wurzeln, waren im ersteren Falle 6, im zweiten Falle 5 der Säurelösung zugewendet. Diese Wurzeln wuchsen in beiden Fällen 2—5 cm von der Lösung entfernt, während die näher wachsenden sich indifferent verhielten und anscheinend etwas geschädigt waren, da deren Spitzen eine bräunliche Färbung

aufwiesen und nur schwach turgeszent waren. Gegenüber gleich starken Lösungen von Salz- und Salpeter-Säure verhielten sich sämtliche Wurzeln indifferent. Wurden 0,1 %ige Lösungen dieser Mineralsäuren den Wurzeln dargeboten, so konnten nur die am entferntesten wachsenden reagieren, da die näher befindlichen durch die diffundierende Säure anscheinend ohne Zeit zur Ausführung einer Krümmung gehabt zu haben, abgetötet wurden.

Auch die oben erwähnten organischen Säuren wirkten ausnahmslos repulsiv, wenn auch die Empfindlichkeit der Lupinenwurzel diesen gegenüber, ausgenommen Ameisensäure und Essigsäure, eine nicht so stark ausgeprägte, wie gegenüber den Mineralsäuren war.

Die anscheinend sehr rasch diffundierende und sehr starke Ameisensäure und ebenso die Essigsäure wirkten bereits in 0,001 %igen Lösungen tötend. Von 0,0001 %igen Lösungen dieser Säuren wandten sich sämtliche 12 untersuchten Lupinenwurzeln ab. Gegenüber gleich starken Lösungen der übrigen organischen Säuren verhielten sich sämtliche Wurzeln indifferent. Bei Weinsäure trat eine merkliche Reaktion der Wurzeln ein, wenn die Konzentration etwa 0,005 % betrug. Von 12 untersuchten Wurzeln, waren 7 abgewendet, die übrigen wuchsen dagegen gerade. Als die Konzentration auf 0,01 % anstieg, waren sämtliche 10 untersuchten Wurzeln abgewendet, desgleichen wandten sich sämtliche Wurzeln ab, wenn gleichstarke Lösungen von Zitronen- und Apfelsäure dargeboten wurden. Stärkere Lösungen führten in sämtlichen drei Fällen zum Tode.

Ich möchte nicht unerwähnt lassen, daß die Wirkung eine intensivere war, wenn die als Nährboden dienende Gelatine durch Erstarren einer 3 %igen Gelatinelösung bereitet wurde, als wenn die Wurzeln in einer 6 %igen Gelatine wuchsen. So reagierten beispielsweise sämtliche 12 in einer 3 %igen Gelatine wachsenden Wurzeln auf eine 0,005 %ige Lösung von Apfelsäure, während bei dieser Konzentration jede Reaktion ausblieb, wenn die Gelatine 6 %ig war. Im letzteren Falle trat die Reaktion erst bei einer Konzentration von 0,01 % ein. Ebenso wirkte eine 0,001 %ige Lösung von Essigsäure nur dann tötend, wenn die Wurzeln in einer 3 %igen Gelatine wuchsen; befanden sich dieselben in einer 6 %igen Gelatine, so trat der Tod erst bei erheblich stärkeren Lösungen ein.

Die Ursache dieses Verhaltens dürfte wahrscheinlich in der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher die dargebotenen Stoffe durch eine mehr oder minder dichte Gelatinelösung diffundieren, zu suchen sein, und gleiche Erscheinungen dürften auch, obwohl ich mich hiervon durch entsprechende Versuche nicht überzeugt habe, bei der Darbietung anderer Stoffe auftreten. Hieraus könnte geschlossen werden, daß auch die physikalische Beschaffenheit des Nährbodens eine sehr wesentliche Rolle bei dem Zustandekommen chemotropischer Reizerscheinungen spielt. In porösem Erdboden, welcher ein sehr stark ver-

zweigtes System miteinander kommunizierender Kapillaren darstellt, wo also hydrostatische Erscheinungen eine große Rolle spielen, dürfte, wie es ja der Versuch mit einem weniger konsistenten Nährboden (3 %ige Gelatine) gegenüber einem dichteren (6 %ige Gelatine) zeigte, die Empfindlichkeit der Wurzel für chemische Reize eine bedeutend intensivere sein.

16. Knochenmehl.

Das zu den Versuchen verwendete Knochenmehl enthielt in wasserfreiem Zustande 11,30 % P_2O_5, wovon 0,4 % zitratlöslich waren.

Die zur Bereitung eines Blocks dienende etwa 250 gr wiegende 6 %ige Gelatinelösung erhielt kurz vor dem Erstarren einen Zusatz von 12,5 bezw. von 5 bezw. von 2,5 bezw. von 0,25 bezw. von 0,025 g des Knochenmehles, sodaß der Gehalt der Blöcke an demselben 5 bezw. 2 bezw. 1 bezw. 0,1 bezw. 0,01 % betrug. Das Verhalten der Lupinenwurzeln diesen Blöcken gegenüber war das folgende:

a) bei einem Gehalt von 5 % waren alle untersuchten 8 Wurzeln in den das Knochenmehl enthaltenen Block eingewachsen; das Wachstum war verhältnismäßig gut, da die an diesen Wurzeln gemessene Zunahme im Durchschnitt 11 mm betrug.

b) Bei einem Gehalt von 2 % waren von 8 Wurzeln 2 in den Block eingewachsen, 5 gegen den Block sichtlich gekrümmt, eine verhielt sich indifferent. Die Wachstumszunahme betrug durchschnittlich 13 mm.

c) Bei einem Gehalt von 1 % waren von 8 untersuchten Wurzeln 6 eingewachsen, 2 gegen den Block gekrümmt. Die Wachstumszunahme betrug durchschnittlich 14 mm.

d) Alle 8 Wurzeln wuchsen zwischen den beiden Blöcken gerade weiter, wenn der Gehalt des einen Blocks an Knochenmehl 0,1 % betrug. Die Wachstumszunahme belief sich in diesem Falle durchschnittlich auf 13 mm.

Die nach „Methode II“ angestellten Versuche haben gezeigt, daß, wenn in das in der Gelatine ausgestochene und ca. 20 ccm Flüssigkeit fassende Loch 0,5 g dieses Stoffes gebracht und mit destilliertem Wasser so bedeckt wurden, daß das Loch mit Wasser vollgefüllt war, sich von 12 Wurzeln, 10 dem Knochenmehl zugewandt haben und auf dasselbe zuwuchsen. Von 12 Wurzeln wandten sich dagegen dem Knochenmehl nur 6 zu, wenn in das besagte Loch nur 0,5 g von demselben eingetragen wurden.

Auch die Versuche nach „Methode III“ haben gezeigt, daß die Lupinenwurzel durch das Knochenmehl positiv chemotropisch gereizt wird; denn von 4 Wurzeln waren 3 gegen das einige Körnchen desselben enthaltende Sandfeld gekrümmt und sämtliche 4 produzierten nach 72 stündiger Versuchsdauer an der dem das Knochenmehl enthaltenden Sandfelde zugekehrten Seite zahlreichere Nebenwurzeln als auf der anderen Seite.

17. Knop'sche Nährlösung.

Die von mir zu den Versuchen verwendete Knop'sche Nährlösung wurde genau nach Angaben von Knop[1]) bereitet und in folgender Weise zu den Versuchen nach „Methode I" herangezogen:

a) 25 ccm derselben wurde der ca. 250 g schweren zur Bereitung des Blocks dienenden Gelatinelösung hinzugefügt. Sämtliche untersuchten 8 Wurzeln waren von diesem Blocke abgewendet, dem anderen zugekrümmt und tot.

Eine in der derselben Konzentration nach „Methode II" verwendete Nährlösung wirkte stark repulsiv, da sich sämtliche 12 Wurzeln von derselben abwandten.

b) Enthielt der Gelatineblock 10 ccm dieser Lösung, so waren ebenfalls sämtliche 8 untersuchten Wurzeln gegen den andern Block gekrümmt und ebenfalls tot.

In derselben Konzentration wirkte diese Lösung, nach „Methode II" angewendet, ebenfalls repulsiv. Alle 12 untersuchten Wurzeln waren von derselben stark weggekrümmt.

c) Auch wenn der Block nur 5 ccm dieser Lösung enthielt, waren sämtliche Wurzeln gegen den anderen Block gekrümmt und im Absterben begriffen.

Nach „Methode II" wirkte eine ebenso starke Lösung auf sämtliche 12 untersuchten Wurzeln repulsiv.

d) Enthielt der eine der Blöcke einen bezw. einen halben bezw. $^1/_{10}$ ccm der Knop'schen Nährlösung, so waren im ersteren Falle von 8 Wurzeln 3 gegen den andern gekrümmt, während sich 5 indifferent verhielten, im zweiten und ebenso im dritten Falle war das Verhalten sämtlicher Lupinenwurzeln ein völlig indifferentes.

Wurden gleich starke Lösungen der Knop'schen Flüssigkeit nach der „Methode II" dargeboten, so trat im ersten Falle noch eine ziemlich starke repulsive Wirkung ein. Von 12 Wurzeln waren 7 abgewendet. Im zweiten und dritten Falle waren von je 12 untersuchten 4 bezw. 3 Wurzeln von der Lösung weggekrümmt.

Dieses Verhalten ist durchaus erklärlich, da es aus den vorstehend angeführten Versuchsergebnissen bekannt ist, daß die Lupinenwurzel durch Kalisalpeter, durch salpetersauren Kalk, durch Chlorkali, durch Monokaliumphosphat und durch Magnesiumphosphat, welche die Hauptbestandteile der Knop'schen Nährlösung bilden, negativ chemotropisch reizbar ist.

18. Harnstoff $CO(NH_2)_2$.

Das Verhalten von je 6 Lupinenkeimlingen gegenüber einer 0,01, 0,1 und einer 1 %igen Lösung von Harnstoff war, wenn

[1]) Knop, Versuchsstationen 1884, Bd. 30, S. 293.

derselbe nach „Methode I" in einem Gelatineblock dargeboten wurde, ein indifferentes. Im letzteren Falle waren die wenig gewachsenen Keimlinge tot. Die Wachstumszunahme betrug durchschnittlich 15, bezw. 9, bezw. 4 mm.

Wurde eine 1 %ige Harnstofflösung, bezw. eine einer solchen entsprechende Menge dieses Stoffes nach „Methode II" in das in der Gelatine ausgestochene mit destill. Wasser gefüllte Loch gebracht, so waren sämtliche 12 in der Gelatine befindliche Wurzeln bereits nach einigen Stunden abgestorben. Hingegen wandten sich diesem Stoffe von 12 Wurzeln, 5 zu, wenn die Konzentration 0,01 % betrug und als dieselbe auf 0,001 % fiel, waren keine Krümmungen mehr eingetreten.

19. Asparagin. $C_4H_8N_2O_3$.

Auf eine 0,01, 0,1 und 1 %ige Lösung von Asparagin bezw. auf einer solchen Konzentration entsprechende, in destilliertem Wasser suspendierte Mengen dieses Stoffes, reagierten die *Lupinus*-Wurzeln, wenn dieser Stoff in einem Gelatineblock nach „Methode I" enthalten war, nicht.

Dagegen waren von 12 Wurzeln 6 gegen 1 % dieses Stoffes gekrümmt, wenn sich derselbe in dem in der als Nährboden dienenden Gelatine ausgestochenen Loch befand. Weder größere noch geringere Mengen vermochten eine Krümmung hervorzurufen.

20. Kohlehydrate.

Von den Kohlehydraten untersuchte ich die Wirkung der d-Glukose, der Saccharose und der Laktose.

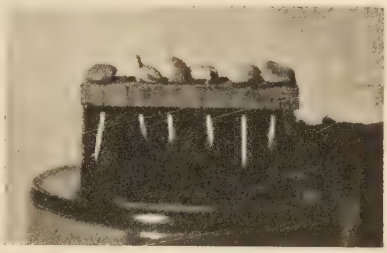
Diesen drei Zuckerarten gegenüber verhielten sich, wenn dieselben in 5 %iger Lösung verwendet wurden, sämtliche untersuchten 24 Lupinenwurzeln völlig indifferent. Stieg die Konzentration auf 10, 15, 20 und 25 %, so traten hakenförmige Krümmungen ein, und die Wurzeln waren durchweg in die diese Stoffe enthaltenden Blöcke eingewachsen. Die Krümmungen erwiesen sich sämtlich als Schädigungskrümmungen, da das Wachstum sehr stark gehemmt und schon bei einer 10 % übersteigenden Konzentration mindestens einseitig gänzlich aufgehoben wurde.

Nach „Methode II" angewandt, traten selbst bei 15 % übersteigenden Konzentrationen gar keine Krümmungserscheinungen ein.

21. Malzextrakt.

Gegenüber einem trockenen, für die Versuche in wässeriger Lösung benutzten Malzpräparat waren die Lupinenwurzeln empfindlicher als gegenüber dem ebenfalls in wässeriger Lösung verwendeten Scheringschen flüssigen Malzextrakt.

Das erstere wirkte bereits in 1 %iger Lösung, nach „Methode I“ angewandt, schwach anziehend, indem von 6 Wurzeln 4 dem Block zugewendet waren, während letzteres selbst in 5 %iger Lösung ohne jede Wirkung blieb. Die durch eine 5 %ige Lösung des trockenen Präparates hervorgerufenen Krümmungen sind aus der mit Figur 23 bezeichneten photographischen Aufnahme ersichtlich. Auch eine 10 %ige Lösung wirkte attraktiv. Durch Messungen habe ich festgestellt, daß eine wesentliche Schädigung des Wachstums selbst durch eine 10 %ige Lösung des Malzextraktes nicht verursacht ward. War die angewandte Lösung 5 %ig, so betrug die an 6 Wurzeln gemessene Wachstumszunahme 14,3 mm, während sie bei einer Konzentration von 10 % noch 10,1 mm im Durchschnitt betrug. Das gleiche Verhalten zeigten auch die Wurzeln bei Anwendung von „Methode II“.



Figur 23.

22. Fleischextrakt.

Zu diesen Versuchen wurde Liebigs Fleischextrakt herangezogen. Seine chemische Zusammensetzung ist durchschnittlich etwa die folgende:

H_2O	=	19,33 %,
Salze	=	23,25 %,
Organische Stoffe	=	27,52 %, hiervon
N	=	8,914 %.

Die Asche enthält:

K_2O	=	32,2—46,5 %,
Na_2O	=	9,5—18,5 %,
CaO	=	Spuren,
MgO	=	2,2—4,6 %,
Fe_2O_3	=	0,1—0,8 %,
P_2O_5	=	23,3—38,1 %,
SO_3	=	0,1—3,8 %,
Cl	=	7—14 %.

In 1 %iger Lösung wirkte der Fleischextrakt, nach „Methode I“ angewandt, nicht. In 5 %iger Lösung rief er Krümmungen hervor, welche den durch Malzextrakt verursachten durchaus ähnlich waren; das Wachstum war ein befriedigendes, denn die an je 6 Wurzeln festgestellte Wachstumszunahme betrug im Durchschnitt für eine Konzentration von 1 %, 12 mm, für eine solche von 5 %, 10,7 mm.

Während nach „Methode I“ Krümmungen erst durch eine Konzentration von 5 % hervorgerufen wurden, traten dieselben bereits bei Darbietung einer 1 %igen Lösung ein, wenn sich die-

selbe in dem in Gelatine ausgestochenen Loch befand. Sämtliche untersuchten 16 Wurzen waren in diesem Falle gegen die Lösung dieses Stoffes stark gekrümmt und wuchsen auf dieselbe zu.

23. Pflaumendekokt.

Die Wirkung eines konzentrierten Pflaumendekokts war derjenigen des Fleischextraktes ähnlich. Eine ca. 5 %ige nach „Methode I" angewandte Lösung desselben rief bei sämtlichen untersuchten 6 Wurzeln gegen den diesen Stoff enthaltenden Block gerichtete Krümmungen hervor. Diese waren allerdings etwas schwächer, als die durch Fleischextrakt verursachten.

Nach „Methode II" waren von 16 untersuchten Wurzeln, 10 schwach gegen eine wässerige 1 %ige Lösung des Pflaumendekokts gekrümmt. Eine stärkere Lösung und zwar eine 5%ige vermochte ebenfalls keine positive Krümmung aller Wurzeln hervorzurufen. Von 16 untersuchten, waren in diesem Falle bloß 9 Wurzeln gegen das Pflaumendekokt gekrümmt.

24. Anilinfarbstoffe.

Wie bereits in der ersten Abteilung dieser Abhandlung mitgeteilt wurde, war eine der Hauptfehlerquellen der von Newcombe und Rhodes angewandten Methode die, daß eine Diffussion des in einem Gelatineblock enthaltenen Stoffes nach dem anderen, dem ersteren dicht anliegenden, stattfinden konnte. Daß eine solche Diffusion in sehr hohem Grade in Wirklichkeit eintritt, überzeugte ich mich durch Versuche mit Farbstofflösungen. Im nachstehenden will ich über das diesen gegenüber eigenartige Verhalten der *Lupinus*-Wurzel berichten, da die Versuche mit Farbstoffen ebenso wie mit den bereits besprochenen Giften den besten Beweis hierfür lieferten, daß die Methode von Newcombe und Rhodes zur Feststellung der chemotropischen Reizbarkeit der Wurzel gänzlich ungeeignet ist. Von den zahlreichen Farbstoffen, mit denen ich Versuche anstellte, greife ich nur diejenigen heraus, welche auf die Richtungsbewegungen der *Lupinus*-Wurzel wesentlichen Einfluß ausübten, und beschränke mich darauf, bezüglich einer Reihe von Farbstoffen zu erwähnen, daß sich diesen gegenüber in 0,1 %igen Lösungen die Lupinenwurzel völlig indifferent verhielt. Von solchen Farbstoffen nenne ich das Korallin, das Safranin, das Methylgrün, das Naphthalinrot und das Säurefuchsin.

Dagegen riefen bereits 0,01 %ige Lösungen von Eosin, Fuchsin und Methylenblau starke, gegen die diese Farbstoffe enthaltenden Gelatineblöcke gerichteten Krümmungen hervor, welche noch intensiver wurden, wenn die Konzentration auf 0,1 % stieg. Das Karmin und das Cyanin verursachten erst überhaupt in 0,5 %iger Lösung Wurzelkrümmungen, die bei sämtlichen untersuchten je 6 Wurzeln ausnahmslos eingetreten sind.

Gegenüber 0,001 %igen Lösungen von Methylenblau, Fuchsin und Eosin verhielten sich die Wurzeln indifferent.

Wie aus den nachstehenden Tabellen ersichtlich ist, war das Wachstum bei Anwendung von 0,01 und 0,1 %igen Lösungen dieser Farbstoffe ein insbesondere bei Eosin stark gehemmtes, und waren die eingetretenen Krümmungen ohne Zweifel einer Schädigung zuzuschreiben.

Eosin:

Konzentration	0,01 %				0,1 %			
Wurzel-Nr.	a	k	e	z	a	k	e	z
1	27	30	34	7	19	19	23	4
2	26	22	31	5	20	20	23	3
3	27	24	34	7	15	14	18	3
4	26	24	34	8	15	13	16	1
5	30	31	36	6	17	15	19	2
6	26	23	31	5	16	15	18	2
Im Durchschnitt	27	25,6	33,3	6,3	17	16	19,5	2,5

Fuchsin:

Konzentration	0,0 1 %				0,1 %.			
Wurzel-Nr.	a	k	e	z	a	k	e	z
1	23	30	36	13	24	25	34	10
2	23	24	33	10	26	28	35	9
3	20	23	29	9	25	27	34	9
4	20	24	33	13	23	30	33	10
5	22	25	32	10	26	28	36	10
6	22	26	33	11	24	25	32	8
Im Durchschnitt	21,6	25,3	32,6	11	24,6	27,1	33,5	9,3

Methylenblau:

Konzentration	0,01 %				0,1 %			
Wurzel-Nr.	a	k	e	z	a	k	e	z
1	30	31	37	7	22	24	28	6
2	29	30	40	11	17	20	24	7
3	29	31	37	8	20	21	26	6
4	26	32	35	9	20	23	28	8
5	30	32	38	8	20	22	27	7
6	30	33	39	9	22	25	30	8
Im Durchschnitt	29	31,5	37,6	8,6	20,1	22,5	27,1	7

Diesen Resultaten gegenüber haben nach „Methode II“ vorgenommene Untersuchungen ergeben, daß die Lupinenwurzel bereits durch 0,001 %ige Lösungen von Eosin und Methylenblau negativ chemotropisch gereizt wird. Der erste Farbstoff rief bei

9 von 12 untersuchten, der zweite bei 10 von ebensovielen Wurzeln negative Krümmungen hervor. Die repulsive Wirkung dieser Farbstoffe in der gleichen Konzentration war stärker, wenn Sand als Nährboden gewählt und mit einer mit Eosin und Methylenblau bereiteten Gelatine umgeben wurde. Schwächer war die Wirkung des Fuchsins, da erst bei einer Konzentration von 0,01% an 7 von untersuchten, 12 Wurzeln Krümmungserscheinungen eintraten.

Noch schwächer war die Wirkung, welche Carmin und Cyanin hatten; ich mußte die Konzentration auf ca. 0,5 % erhöhen, bevor von je untersuchten 12 Wurzeln, im ersteren Falle 6, im zweiten dagegen 5 von der Farbstofflösung abgewendet gefunden wurden.

B. Versuche mit der Wurzel von *Vicia faba*.

Das Verhalten der Wurzel von *Vicia faba* war gegenüber einer Reihe von Salzen demjenigen der *Lupinus*-Wurzel durchaus identisch.

a) Eine 1 %ige Lösung von Ammonphosphat rief, nach „Methode I“ angewendet, an 9 von untersuchten 14 Wurzeln Krümmungen hervor, die sich als Schädigungskrümmungen schon dadurch kenntlich machten, daß die Wurzelspitzen stark gebräunt waren und die Keimlinge nach Beendigung der Versuche in einer Wasserkultur nicht gediehen.

b) Ähnlich, wenn auch schwächer, wirkte eine 1 %ige Lösung von weinsaurem Kali. Von 14 untersuchten Wurzeln waren dem, dieses Salz enthaltenden Block, 6 zugekrümmt.

c) Eine 1 %ige Lösung von Natriumphosphat hatte die Wirkung, daß von 14 Wurzeln 8 mit sichtlicher, einer Schädigung zuzuschreibenden Krümmung, in den Block eingewachsen waren.

d) Gegenüber 1 %igen Lösungen von Kalisalpeter, Kalisulfat, Monokaliumphosphat, Kochsalz, Ammonnitrat, Ammonsulfat und Kalziumphosphat verhielten sich je untersuchte 10 Wurzeln völlig indifferent, wenn diese Salze nach „Methode I“ dargeboten wurden. Auch gegenüber 0,1 %igen Lösungen von Ammonphosphat, Natriumphosphat und von weinsaurem Kali war das Verhalten der Wurzel dieser Pflanze ein durchaus indifferentes.

Eine scharfe Differenzierung trat dagegen bei Anwendung der „Methode II“ ein.

0,1 %ige Lösungen von Ammonphosphat und Kalisulfat wirkten in hohem Grade attraktiv. Im ersten Falle waren von 12, 11, im zweiten Falle von 10, 8 Wurzeln der Lösung zugewendet und gegen dieselbe stark gekrümmt.

Eine 0,1 %ige Lösung von Kalisalpeter wirkte ebenfalls schwach attraktiv, indem von 10 Wurzeln, derselben 5 zugewendet waren, während die übrigen 5 sich indifferent verhielten und lotrecht weiter gewachsen waren. Stieg die Konzentration auf 1 %, so trat eine repulsive Wirkung ein, indem von 10 untersuchten, 7 Wurzeln abgewendet waren, während 3 etwa in einer Entfernung von 5 cm wachsende nicht reagierten.

Trikalziumphosphat wirkte schwach attraktiv, wenn in das in der Gelatine ausgestochene Loch auf ca. 20 g destilliertes Wasser 1 g dieses unlöslichen Salzes gebracht wurde. Von 12 Wurzeln wuchsen 7 auf den phosphorsauren Kalk zu.

Eine 0,1 %ige und ebenso eine 1 %ige Lösung von Ammonsulfat blieb wirkungslos, während eine 0,1 %ige und in noch höherem Grade eine 1 %ige Lösung von salpetersaurem Ammon repulsiv wirkte. Im ersteren Falle waren von 12, 6, im zweiten Falle von ebensovielen, 10 Wurzeln von der Lösung abgewendet.

Natriumphosphat wirkte in 0,1 %iger Lösung attraktiv, denn von 10 untersuchten Wurzeln, waren 8 derselben stark zugewendet.

Die Wirkung des Monokaliumphosphats war eine nur sehr schwache. Wurde eine 0,1 %ige Lösung dieses Salzes dargeboten, so wandten sich derselben von 10 nur 4 Wurzeln zu. Stieg dagegen die Konzentration auf 1 %, so waren von 10, 6 Wurzeln abgewendet

In hohem Grade repulsiv wirkte eine 1 %ige Kochsalzlösung. Sämtliche 12 untersuchten Wurzeln waren ausnahmslos stark negativ chemotropisch gekrümmt und von der Lösung abgewendet.

0,1 %ige Lösungen der Nitrate von Kupfer, Blei, Quecksilber und Eisen und eine ebenso starke Lösung von Methylenblau riefen stark ausgeprägte negative Krümmungen der sämtlichen untersuchten Wurzeln hervor. Die für Ammonphosphat und Kochsalz angegebenen Resultate wurden auch erzielt, wenn als Nährboden Sand diente, der von einer 0,1 % Ammonphosphat bzw. Kochsalz enthaltenden Gelatine umschlossen war. Im ersteren Falle waren von 10, 8 Wurzeln der Gelatine zugewendet, im zweiten von 10 Wurzeln, 9 von derselben abgewendet.

C. Versuche mit der Wurzel von *Vicia villosa*.

Wegen der äußerst zarten Beschaffenheit ihrer Wurzel eignete sich für diese Pflanze die „Methode II“ nicht. Ich mußte mich daher auf die Anwendung der „Methode I“ beschränken und will die Resultate, trotzdem ich denselben infolge der bedeutenden Fehlerquellen, welche diese Methode enthielt, keinerlei Bedeutung beimesse, nachstehend anführen:

In einen 1 % Ammonphosphat enthaltenden Gelatineblock waren von 15 untersuchten Wurzeln 6 eingewachsen, 2 gegen diesen Block schwach gekrümmt, während sich die übrigen 7 indifferent verhielten.

Enthielt der eine der beiden Gelatineblöcke eine 1 %ige Lösung von Natriumphosphat, so waren von 12 Wurzeln, 3 in denselben eingewachsen, 6 gegen diesen gekrümmt, 3 hingegen indifferent. An dem nicht normalen Aussehen und an der bräunlichen Färbung der Wurzelspitzen erkannte ich, daß dieses Salz in der angewandten Konzentration die Wurzel geschädigt hat, und daß die eingetretenen Krümmungen einer Schädigung zuzuschreiben sind.

1 %ige Lösungen von Ammonnitrat, Ammonsulfat, Kali- und Natronsalpeter, Kochsalz und ebenso Kaliumsulfat haben keinerlei Krümmungserscheinungen hervorgerufen.

0,1 %ige Lösungen von Kupfer- und Bleinitrat und eine 0,1 %ige Lösung von Eisennitrat töteten die an der Spitze braungefärbten und stark gegen die diese Salze enthaltenden Blöcke gekrümmten Wurzeln ab.

D. Versuche mit der Wurzel von *Ervum Lens.*

Die Wurzel der Linse war gegenüber 0,1 und 1 %igen Lösungen von Ammonphosphat, Ammonnitrat, Ammonsulfat, Natriumphosphat, Chlornatrium, Natriumsalpeter, Kalinitrat, Kaliummonophosphat, Kalisalpeter und Kalziumphosphat gänzlich unempfindlich. Lösungen dieser Salze haben weder bei der Anwendung der „Methode I" noch bei Anwendung der „Methode II" irgend welche chemotropischen Erscheinungen hervorgerufen. Ebenso indifferent war das Verhalten der sämtlichen untersuchten *Ervum*-Wurzeln gegenüber 0,1 %igen Lösungen von Kupfer-, Blei- und Quecksilber-Nitrat. Durch diese Salze wurden aber sämtliche Wurzeln abgetötet.

Es scheint somit, daß die Wurzel der Linse durch diese Salze chemotropisch nicht reizbar ist.

E. Versuche mit der Wurzel von *Pisum sativum.*

Nach „Methode I" angewendet, wirkten 0,1 und 1 %ige Lösungen von Ammonphosphat, Ammonnitrat, Kaliummonophosphat, Kaliumsulfat, Kaliumnitrat, Kochsalz und entsprechende Mengen von Kalziumphosphat auf insgesamt 102 Wurzeln nicht. 0,1 %ige Lösungen von Kupfer- und Bleinitrat riefen stark ausgeprägte Schädigungskrümmungen hervor und wirkten tötend.

Die Untersuchungen nach „Methode II" zeigten dagegen, daß die Wurzel von *Pisum* durch sämtliche oben angeführten Salze chemotropisch reizbar ist. Das Verhalten von 144 Wurzeln gegenüber diesen Salzen ist aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich:

Nr.	Angewandte Substanz	Anzahl der untersuchten Wurzeln	Verhalten der Wurzeln		
			Krümmung		indifferent
			positiv	negativ	
1	$(NH_4)_2HPO_4$ 1 %ige Lösung	12	7	—	5
2	$(NH_4)_2SO_4$ „ „	12	6	—	6
3	NH_4NO_3 „ „	12	6	—	6
4	Na_2HPO_4 „ „	12	8	—	4
5	$NaCl$ „ „	12	—	10	2
6	KNO_3 „ „	12	—	7	5
7	K_2SO_4 „ „	12	—	7	5
8	KH_2PO_4 „ „	12	8	—	4
9	$Ca_3(PO_4)_2$ „ „	12	7	—	5
10	$Cu(NO_3)_2$ 0.1 „ „	12	—	11	1
11	$Pb(NO_3)_2$ „ „	12	—	9	3
12	$Hg(NO_3)_2$ „ „	12	—	10	2

Am stärksten waren die Krümmungen bei Nr. 1, 4, 5 und 8—12, während die übrigen Krümmungen schwächer, aber immerhin genügend stark ausgeprägt waren.

F. Versuche mit der Wurzel von *Cicer arietinum*.

Die Wurzel von *Cicer* reagierte auf die unter E. genannten Salze, wenn dieselben nach „Methode I“ angewendet wurden, nicht. Eine 0,1 %ige Lösung von Kupfer- und Bleinitrat rief schwache Schädigungskrümmungen hervor und tötete die Wurzeln ab. Auch 1 %ige Lösungen von Kochsalz und Ammonnitrat wirkten auf sämtliche untersuchten Wurzeln tötend.

Nach „Methode II“ angewendet, wirkten nur das Ammoniumphosphat, das Kaliummonophosphat, der phosphorsaure Kalk und das Kochsalz, ferner die Nitrate von Kupfer, Blei und Quecksilber und zwar wie folgt:

a) Eine 1 %ige Lösung von Ammonphosphat rief eine positive Krümmung von 10 von 12 untersuchten Wurzeln hervor.

b) Eine 1 %ige Lösung von Kaliummonophosphat verursachte an 7 von 12 Wurzeln positive Krümmungen.

c) Wurden in das in Gelatine ausgestochene Loch 20 ccm destilliertes Wasser und 0,5 g Kalkphosphat gebracht, so wuchsen von 12 untersuchten, 8 Wurzeln auf dieses Salz zu.

d) Eine 1 %ige Lösung von Kochsalz tötete 5 in einer Entfernung bis 2 cm wachsende Wurzeln ab. Von den übrigen weiterwachsenden 7, waren 6 von der Lösung abgewendet, während sich eine völlig indifferent verhielt.

e) Auch eine 0,1 %ige Lösung von Kupfer-, Blei- oder Quecksilbernitrat tötete die nahe wachsenden 6 Wurzeln ab, während von den übrigen, von der Lösung entfernteren 6 Wurzeln, 4 bezw. 5 von derselben abgewendet waren.

G. Versuche mit der Wurzel von *Phaseolus vulgaris*.

Die Wurzel der Schminkbohne verhielt sich 1 %igen Lösungen von Ammonphosphat, Ammonsulfat, Ammonnitrat, weinsaurem Kali, Kaliummonophosphat, Kaliumkarbonat, Kaliumnitrat, Chlornatrium und Natriumphosphat gegenüber völlig indifferent, wenn diese Salze in einem Gelatineblock nach „Methode I“ den Wurzeln dargeboten wurden. Eine 0,1 %ige Lösung von Kupfernitrat oder Bleinitrat rief starke gegen den Block gerichtete Krümmungen, gleichzeitig aber auch den Tod der Wurzeln hervor.

Das Verhalten der Wurzel von *Phaseolus*, wenn demselben diese Salze nach „Methode II“ dargeboten wurden, ist aus nachstehender Tabelle ersichtlich.

Die bei Nr. 1, 5 und 8—12 hervorgerufenen Krümmungen waren viel schwächer als die bei der Wurzel von *Lupinus* beobachteten, so daß hieraus und überhaupt aus dem gesamten Verhalten der untersuchten 144 Keimlinge der Schminkbohne darauf zu schließen ist, daß ihre Wurzeln für chemotropische

Nr.	Angewandte Substanz	Anzahl der untersuchten Wurzeln	Verhalten der Wurzeln		
			Krümmung positiv	Krümmung negativ	indifferent
1	$(NH_4)_2HPO_4$ 1%ige Lösung	12	8	—	4
2	$(NH_4)_2SO_4$ „ „	12	—	—	12
3	NH_4NO_3 „ „	12	—	6	6
4	Na_2HPO_4 „ „	12	—	—	12
5	$NaCl$ „ „	12	—	10	2
6	KNO_3 „ „	12	—	—	12
7	K_2SO_4 „ „	12	—	—	12
8	KH_2PO_4 „ „	12	7	—	5
9	K_2CO_3 „ „	12	8	—	4
10	$Ca_3(PO_4)_2$ „ „	12	9	—	3
11	$Cu(NO_3)_2$ 0,1 „ „	12	—	7	5
12	$Pb(NO_3)_2$ „ „	12	—	8	4

Reize weniger empfindlich sind als die Wurzel des *Lupinus*, der *Vicia faba* oder des *Pisum*.

H. Versuche mit der Wurzel von *Zea Mays*.

Die Wurzel der *Zea Mays* hat weder auf das phosphorsaure, salpetersaure und schwefelsaure Ammon noch auf die entsprechenden Kalisalze, wenn ihr dieselben nach „Methode I“ dargeboten wurden, reagiert. Auch gegenüber einer 1%igen Lösung von Kochsalz und gegenüber dem Kalkphosphat verhielt sie sich völlig indifferent. Nur 0.1%ige Lösungen von Kupfer- und Bleinitrat verursachten starke Schädigungskrümmungen und führten den Tod der Wurzeln herbei. Für Untersuchungen nach „Methode II“ war die Wurzel der *Zea Mays* nicht geeignet.

I. Versuche mit den Wurzeln von *Lepidium sativum*, *Raphanus sativus*, *Raphanus olaiferus* und *Brassica napus*.

Die Wurzeln dieser Pflanzen waren für die Untersuchungen nach „Methode II“ ungeeignet. Ich beschränkte mich deshalb auf die Anwendung der „Methode I“ und teilweise auf die Anwendung der „Methode III“ und erhielt hierbei die folgenden Resultate:

a) *Lepidium sativum*.

Von 10 Wurzeln waren 4 in den eine 1%ige Lösung von Ammonphosphat enthaltenden Block eingewachsen. Enthielt der Block 1% phosphorsauren Kalk oder ebensoviel Knochenmehl, so waren in denselben von je 10 Wurzeln, 5 bezw. 6 ohne starke Krümmungen ausgeführt zu haben, hineingegangen. Gegenüber 1%igen Lösungen von Ammonnitrat, Ammonsulfat, Kalinitrat, Kalisulfat, Kaliummonophosphat und Kochsalz und ebenso gegenüber einer 1%igen Lösung von Natronphosphat war das Verhalten sämtlicher untersuchten Wurzeln anscheinend ein indifferentes.

Von 3 Wurzeln, die nach „Methode III“ untersucht wurden, produzierten 2 an der dem einige Körnchen Ammonphosphat enthaltenden Sandfelde anliegenden Seite bedeutend mehr Wurzelhaare als an der gegenüberliegenden Wurzelseite.

b) *Raphanus sativus* und *Raphanus olaiferus.*

Die Wurzeln dieser beiden *Cruciferen* reagierten weder auf 0,5 noch auf 1 %ige Lösungen von Natriumphosphat, Chlornatrium, Kalinitrat, Ammonnitrat, Ammonsulfat und Kalziumphosphat.

0,5 und ebenso 1 %ige Lösungen von Ammonphosphat und in schwächerem Grade, von weinsaurem Kali ferner ebenso starke Lösungen von Monokaliumphosphat riefen an der dem diese Salze enthaltenden Block anliegenden Seite stärkere Wurzelhaarbildungen als an der anderen Seite, mit welcher die Wurzeln mit dem nur destilliertes Wasser enthaltenden Block in Berührung standen, hervor.

0,1 %ige Lösungen von Kupfer- und Bleinitrat verursachten starke, hakenförmige Krümmungen der Wurzeln und töteten dieselben ab.

c) *Brassica napus.*

Auf die unter Ib. genannten Salze reagierte die Wurzel von *Brassica* nicht. 0,5 %ige Lösungen von Kaliummonophosphat, von weinsaurem Kali und 0,1 %ige Lösungen von Kupfer- und Bleinitrat, riefen starke Schädigungskrümmungen hervor und führten zum Tode.

K. Versuche mit der Wurzel von *Cucurbita Pepo.*

Newcombe und Rhodes[1]) berichten, daß sich die Wurzel von *Cucurbita Pepo* gegenüber dem Natriumphosphat, dem Kalisalpeter, dem Magnesiumsulfat und dem Kalziumnitrat indifferent verhielt, wenn eine Anzahl von Wurzeln dieser Pflanze zwischen zwei Gelatineblöcken, von denen der eine diese Salze enthielt, angeordnet wurden.

Die Resultate, welche die durch mich mit der Wurzel der *Cucurbita* angestellten Untersuchungen ergaben, bestätigten die Angaben von Newcombe und Rhodes. Als ich aber die Konzentration, mit welcher diese Autoren gearbeitet haben, erhöhte, gelangte ich zu den folgenden Ergebnissen:

Phosphorsaures Natron, ebenso phosphorsaures Ammon wirkten in 5 %iger Lösung, den Wurzeln der *Cucurbita* in einem Gelatineblock nach „Methode I“ dargeboten, derart, daß im ersteren Falle von 8, 5, im zweiten von ebenso vielen, 6 gegen den diese Salze enthaltenden Block gekrümmt bezw. in denselben eingewachsen waren. In beiden Fällen produzierten die Wurzeln weitaus mehr Nebenwurzeln als gleichzeitig angesetzte Wasser- und Wasserdampfkulturen.

Nach „Methode II“ angewendet, riefen bereits 1 %ige Lösungen dieser Salze positive chemotropische Krümmungen bei 7 bezw. 9 von je 12 untersuchten Wurzeln hervor.

[1]) Newcombe und Rhodes: l. c.

Das Kaliumnitrat, dessen 2%iger, nach „Methode I" dargebotener Lösung gegenüber, sich 8 Wurzeln indifferent verhielten, wirkte bei Anwendung der „Methode II" repulsiv, indem von 12, 9 Wurzeln von seiner Lösung weggewendet waren.

Ebenso wirkte eine 1%ige Lösung von Kalziumnitrat repulsiv, während dieses Salz in 2%iger Lösung, nach „Methode I" angewendet, gar keine Krümmungen hervorrief.

Einer 1%igen Lösung von Magnesiumsulfat gegenüber und ebenso gegenüber einer 1%igen Lösung von Ammonsulfat, Ammonnitrat, Kaliummonophosphat und Kalziumphosphat verhielten sich je 12 in Gelatine wachsende Wurzeln völlig indifferent.

Von einer 1%igen Lösung von Kochsalz und von einer ebenso starken Lösung von Kaliumsulfat wandten sich von je 12, 7 bezw. 6 Wurzeln ab.

Weinsaures Kali, welches in 2%iger Lösung nach „Methode I" dargeboten, an 5 von 8 Wurzeln gegen den dasselbe enthaltenden Block gerichtete Krümmungen hervorrief, wirkte in ebenso starker Konzentration, nach „Methode II" angewendet, nicht.

Das Kupfer- und das Bleinitrat, die in 0,1%iger Lösung in einem Gelatineblock schon innerhalb weniger Stunden den Tod sämtlicher, diesem Block anliegender Wurzeln verursachten, wirkten nach „Methode II" angewendet auf die in einer Entfernung von 3 –5 cm wachsenden Wurzeln repulsiv. Im ersteren Falle waren von 8, 5, im zweiten von ebensovielen Wurzeln, 6 abgewendet. Die näher wachsenden je 8 Wurzeln waren der Lösung stark zugewendet und tot. Diese Zuwendung der, der stark giftigen Lösung am nächsten wachsenden Wurzeln ist auf die bereits früher erwähnte Schädigung durch das rasch diffundierende Salz zurückzuführen.

L. Versuche mit der Wurzel von *Helianthus annuus*.

Nach „Methode I" vermochten nur das stark giftige Kupfer- und Bleinitrat in 0,1%iger Lösung stark ausgeprägte Schädigungskrümmungen hervorzuzufen. Sämtliche Wurzeln waren tot.

Daß aber die *Helianthus*-Wurzel ebenfalls chemotropisch reizbar ist, zeigten nach „Methode II" angestellte Versuche. Die Resultate sind aus nebenstehender Tabelle ersichtlich:

IV. Zusammenfassung der Resultate.

Durch die vorliegenden Untersuchungen ist, wie dies bereits eingangs dieser Abhandlung hervorgehoben wurde, vor allem festgestellt worden, daß die von Newcombe und Rhodes angewandte Methode zur Prüfung der chemotropischen Reizbarkeit der Wurzeln ungeeignet ist. In anbetracht des Umstandes, daß auch typische Gifte, nach dieser Methode der Wurzel dargeboten, starke positive Krümmungen derselben veranlassen, ist es erklärlich, daß, wie Newcombe und Rhodes berichten, bei ihren Versuchen sämtliche Wurzeln selbst dann in einen phosphorsaures Natron enthaltenden Block hineinwuchsen, wenn sie infolge der hohen Konzentration einem sicheren Tode entgegengingen.

Nr.	Angewandte Substanz			Anzahl der untersuchten Wurzeln	Verhalten der Wurzeln		
					Krümmung positiv	Krümmung negativ	indifferent
1	$(NH_4)_2HPO_4$	1 %	ige Lösung	16	13	—	3
2	$(NH_4)_2SO_4$	„	„	16	sämtliche Wurzeln waren tot		
3	$(NH_4)_2SO_4$	0,1	„ „	16	—	9	7
4	NH_4NO_3	1	„ „	16	sämtliche Wurzeln waren tot		
5	NH_4NO_3	0,1	„ „	16	—	12	4
6	KNO_3	1	„ „	16	sämtliche Wurzeln waren tot		
7	KNO_3	0,1	„ „	16	—	5	11
8	KH_2PO_4	1	„ „	16	sämtliche Wurzeln waren tot		
9	KH_2PO_4	0,1	„ „	16	—	6	10
10	K_2SO_4	1	„ „	16	sämtliche Wurzeln waren tot		
11	K_2SO_4	0,1	„ „	16	—	8	8
12	Na Cl	1	„ „	16	sämtliche Wurzeln waren tot		
13	Na Cl	0,1	„ „	16	—	12	4
14	Na_2HPO_4	1	„ „	16	9	—	7
15	$Ca_3(PO_4)_2$	1	„ „	16	14	—	2
16	$Cu(NO_3)_2$	0,1	„ „	16	—	13	3
17	$Pb(NO_3)_2$	0,1	„ „	16	—	12	4
18	$Hg(NO_3)_2$	0,1	„ „	16	—	11	5

Da es mit Sicherheit anzunehmen sein dürfte, daß die durch typische Gifte, wie Kupfer-, Blei-, Quecksilbersalze u. dergl. hervorgerufenen positiven Krümmungen dadurch zustande kommen, daß das Wachstum der dem solche Stoffe enthaltenden Gelatineblock anliegenden Wurzelseite stark gehemmt oder gänzlich aufgehoben wird, so sind die durch Newcombe und Rhodes bei Darbietung des phosphorsauren Natrons beobachteten Krümmungen auf eine solche Schädigung und nicht auf eine chemotropische Reizerscheinung zurückzuführen. Dies umsomehr, als eine plausible Erklärung für die Zweckmäßigkeit einer solchen dem sicherlich auch in der Pflanzenwelt als vorhanden anzunehmenden Selbsterhaltungstrieb widersprechenden Lebenstätigkeit fehlt.

Die Richtigkeit der Annahme, daß die durch typische Gifte oder durch im Überschuß dargebotene, ebenfalls giftig wirkende Nährsalzlösungen hervorgerufenen Krümmungen der Lupinenwurzel, bei der durch Newcombe und Rhodes gewählten Versuchsanordnung einer Reizerscheinung zuzuschreiben sind, welche durch Schädigung der Wurzel hervorgerufen wird, ist dadurch bewiesen worden, daß, als Versuchsverhältnisse gewählt wurden, welche den natürlichen Wachstumsbedingungen mehr entsprachen, als die von Newcombe nnd Rhodes angewendeten, die Wurzeln der ihnen drohenden Gefahr durch Abwendung zu entrinnen suchten und sich nur nützlichen Stoffen zuwandten. Ander-

seits ist durch exakte Messungen nachgewiesen worden, daß durch die von Newcombe und Rhodes gewählten Versuchsverhältnisse, das Wachstum der Wurzeln in hohem Grade schädlich beeinflußt und stark gehemmt, somit die Wurzel geschädigt wird.

Es ist ferner festgestellt worden, daß nebst der Lupinenwurzel auch die Wurzel der *Vicia faba*, ferner die Wurzel von *Pisum*, *Cicer*, *Cucurbita* und *Helianthus* chemotropisch reizbar sind, und daß die Wirkung eines Reizstoffes die Ablenkung der Wurzel dieser Pflanzen aus ihrer ursprünglichen Wachstumsrichtung veranlaßt, und zwar, daß diese Ablenkung nach dem hinzudiffundierenden Stoffe hin oder von demselben hinweg stattfindet, je nachdem der Stoff auf die Wurzel anlockend oder abstoßend wirkt. Einigen Stoffen gegenüber verhält sich die Wurzel ganz oder fast ganz indifferent.

Die Art und Weise der Ablenkung ist sowohl von der chemischen Qualität als auch von der Quantität abhängig. Während der Qualität nach, für die Mehrzahl der Stoffe nur eine Art der Ablenkung (positiver oder negativer Chemotropismus) in Frage kommt, vermag — dies gilt allerdings nur bezüglich einiger Stoffe — die Quantität ein und desselben Stoffes entweder positive oder negative chemotropische Erscheinungen hervorzurufen und zwar je nachdem die dargebotene Menge selbst eines sonst der Pflanze nützlichen Stoffes, der Wurzel zuträglich oder schädlich ist.

In der Zu- oder Abwendung liegt meistens eine Zweckmäßigkeit vor, die darin ihren Ausdruck findet, daß sich die Wurzel den günstigsten Lebensbedingungen anzupassen sucht.

Im besonderen sind für die Wurzeln vorgenannter näher untersuchter Pflanzen die Phosphate gute Lockmittel, ebenso einzelne Leichtmetallsalze, während die Chloride, Nitrate und Sulfate und in allererster Linie die Schwermetallsalze und ebenso einige giftige organische Verbindungen abstoßend wirken.

Es ist nicht ausgeschlossen, daß die Empfindlichkeit der Wurzel gegenüber chemischen Reizen mit dem Längenwachstum fortschreitet, und daß die Wurzel desto empfindlicher gegenüber solchen Reizen ist, je länger die Wurzel ist. Dies wäre verständlich, wenn man bedenkt, daß die senkrecht in den Boden treibende Wurzel eines Keimlings zunächst lediglich die mechanische Aufgabe der Festigung zu erfüllen hat, um erst, nachdem diese gesichert ist, durch Ausbreitung und durch Entwicklung eines weitverzweigten Nebenwurzel- und Wurzelhaarsystems für die Beschaffung der erforderlichen Nahrungsstoffe Sorge zu tragen. Die diesbezüglichen Versuche sind noch im Gange, und soll über dieselben erst nach Abschluß berichtet werden.

Zum Schluß erfülle ich noch die angenehme Pflicht, dem Herrn Geheimrat Prof. Dr. Kny für seine Anregung zu dieser Arbeit und für sein Interesse, welches er derselben entgegenbrachte, meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen.

Tabellarische Übersicht über das Verhalten der Wurzel von *Lupinus albus.*

Untersuchungsmethode II.

Nr.	Angewandte Substanz	Konzentration %	Anzahl der untersuchten Wurzeln	Verhalten der Wurzeln		
				Krümmung		indifferent
				positiv	negativ	
1	Chlorammonium	1	18	—	12	6
2	Ammoniumsalpeter	1	28	—	18	10
3	Ammoniumsulfat	1	12	10	—	2
4	„	0,5	12	10	—	2
5	Ammoniumkarbonat	1	8	8	—	—
6	„	0,5	6	6	—	—
7	„	0,1	6	6	—	—
8	Ammoniumphosphat	1	20	20	—	—
9	„	0,1	12	11	—	1
10	„	0,01	12	10	—	2
11	„	0,001	12	11	—	1
12	Ammoniumvanadat	1	10	7	—	3
13	Ameisensaures Ammon	0,1	sämtliche Wurzeln waren tot			
14	„ „	0,01	„	„	„	„
15	Ammoniumazetat	1	12	—	5	7, hiervon 5 tot.
16	Weinsaures Ammon	0,1	16	10	—	6
17	Zitronensaures Ammon	0,1	12	8	—	4
18	Oxalsaures Ammonium	0,5	12	7	—	5
19	Harnsaures Ammonium	1	16	10	1	5, hiervon 4 mit positiver Krümmungsneigung.
20	Natriumhydroxyd	0,01	24	—	21	3
21	Chlornatrium	1	20	—	20	—
22	„	0,1	12	—	12	—
23	„	0,0001	10	—	10	—
24	Natronsalpeter	0,5	18	—	7	11, hiervon 8 mit negativer Krümmungsneigung.
25	„	2	12	—	10	2
26	Natriumsulfat	0,5	10	—	8	2
27	Natriumkarbonat	1	14	12	—	2
28	„	0,1	10	7	—	3
29	Natriumphosphat	1	20	20	—	—
30	„	0,1	16	11	—	5
31	Natriumazetat	0,1	alle Wurzeln waren tot			
32	Weinsaures Natrium	0,1	14	7	2	5
33	Weinsaures Natronkali	0,1	12	12	—	—
34	Kaliumhydroxyd	0,01	12	—	8	4
35	Chlorkalium	1 oder 0,1	20	—	18	2
36	Jodkalium	1	16	—	4	12
37	Bromkalinm	1	16	—	3	13
38	Kalisalpeter	1	50	10	14	26
39	„	0,1	12	8	—	4

Nr.	Angewandte Substanz	Konzentration %	Anzahl der untersuchten Wurzeln	Verhalten der Wurzeln		
				Krümmung		
				positiv	negativ	indifferent
40	Kaliumsulfat	1	14	6	—	8
41	„	0,1	14	10	—	4
42	„	0,01	16	16	—	—
43	Kaliumkarbonat	1	20	18	—	2
44	„	0,1	12	11	—	1
45	Monokaliumphosphat	1	20	20	—	—
46	„	0,1	10	10	—	—
47	Kaliumbichromat	0,01	10	—	10	—
48	„	0,001	10	—	10	—
49	Kaliumpermanganat	0,1	16	16	—	—
50	„	1	16	16	—	—
51	Kalialaun	0,1	12	—	12	—
52	Cyankalium	0,01	alle Wurzeln waren tot			
53	Rhodankalium	0,1	12	—	9	3
54	Ferrocyankalium	0,1	10	—	—	10
55	Ferricyankalium	0,1	14	14	—	—
56	Kaliumformiat	0,1	alle Wurzeln waren tot			
57	Kaliumazetat	0,01	12	9	—	3
58	Buttersaures Kalium	1	alle Wurzeln waren tot			
59	Weinsaures Kali	0,01	12	7	—	5
60	„ „	0,1	12	9	—	3
61	„ „	1	12	12	—	—
62	Zitronensaures Kalium	1 oder 0,1	20	-	—	20
63	Apfelsaures Kalium	0,1	12	9	—	3
64	„ „	1	12	10	—	2
65	Harnsaures Kalium	0,1	12	—	—	12
66	„ „	1	12	9	—	3
67	Lithiumchlorid	0,1	12	—	12	—
68	Lithiumkarbonat	0,1	12	12	—	—
69	Magnesiumchlorid	0,1	12	—	9	3
70	„	1	12	—	11	1
71	Magnesiumjodid	1	12	—	11	1
72	„	0,1	12	—	—	12
73	„	0,01	12	8	—	4
74	Magnesiumkarbonat	1, 0,1 od. 0,01	30	—	—	30
75	Magnesiumnitrat	0,1	12	—	10	2
76	„	1	12	—	11	1
77	Magnesiumsulfat	0,1	20	—	14	6
78	„	1	40	—	36	4
79	Magnesiumhypophosphat	0,1	10	—	10	—
80	„	1	10	—	10	—
81	Magnesiumphosphat	0,1	12	7	—	5
82	„	1	12	11	—	1
83	Kalkhydrat	0,1	12	—	12	—
84	Chlorkalzium	0,1	12	—	12	—
85	Kalziumkarbonat	0,1	12	—	—	12
86	Kalziumnitrat	0,1	16	—	16	—
87	„	1	12	—	12	—
88	Basisches Kalziumphosphat	0,1	12	—	12	—
89	„	1	12	—	12	—
90	Trikalziumphosphat	0,1	36	32	—	4
91	Kalziumazetat	0,001	alle Wurzeln waren tot			

Nr.	Angewandte Substanz	Konzentration %	Anzahl der untersuchten Wurzeln	Verhalten der Wurzeln		
				Krümmung		
				positiv	negativ	indifferent
92	Chlorbaryum	0,1	12	—	12	—
93	Baryumnitrat	0,1	12	—	12	—
94	Eisenchlorid	0,1	12	—	12	—
95	Eisennitrat	0,1	20	—	20	—
96	Ammoniumferrosulfat	0,1	12	8	—	4
97	„	1	12	10	—	2
98	Eisenoxydulphosphat	0,1	12	—	—	12
99	Eisenoxydphosphat	0,1	10	10	—	—
100	„	1	14	14	—	—
101	Aluminiumchlorid	0,1	12	—	12	—
102	Aluminiumnitrat	0,01	10	—	10	—
103	„	1	20	—	20	—
104	Aluminiumsulfat	0,01	12	—	10	2
105	„	0,1	12	—	12	—
106	Kupferchlorid	0,001	12	—	7	5
107	„	0,01	12	—	10	2
108	„	0,1, oder 1	20	—	20	—
109	Kupfernitrat	0,001	10	—	6	4
110	„	1	20	—	20	—
111	Kupfersulfat	0,001	12	—	7	5
112	„	0,01—0,1	12	—	12	—
113	„	1	20	—	20	—
114	Kupferazetat	0,001	10	—	7	3
115	„	0,01—0,1	alle Wurzeln waren tot			
116	Bleinitrat	0,001—0,1	38	—	38	—
117	„	1	20	—	20	—
118	Bleiazetat	0,01	10	—	6	4
119	„	0,1—1	24	—	24	—
120	Chlorzink	0,01—1	30	—	30	—
121	Zinknitrat	0,001—1	36	—	36	—
122	Zinksulfat	0,01—1	44	—	44	—
123	Sublimat	0,00001	12	—	11	1
124	„	0,001—1	50	—	50	—
125	Merkurinitrat	0,0001	12	—	9	3
126	„	0,001—1	36	—	36	—
127	Kobaltchlorid	0,001	12	—	7	5
128	Kobaltnitrat	0,001	12	—	9	3
129	Nickelchlorid	0,001	12	—	9	3
130	Nickelnitrat	0,001	12	—	9	3
131	Manganchlorid	0,001	12	—	—	12
132	„	0,01	10	—	6	4
133	„	0,1	12	—	11	1
134	Mangannitrat	0,001	12	—	—	12
135	„	0,01	10	—	8	2
136	„	0,1	12	—	10	2
137	Salzsäure	0,0001—0,1	48	—	48	—
138	Salpetersäure	0,0001—0,1	48	—	48	—
139	Schwefelsäure	0,0001	10	5	—	5
140	„	0,001—0,1	36	—	36	—
141	Phosphorsäure	0,0001	10	6	—	4
142	„	0,001—0,1	36	—	36	—
143	Ameisensäure	0,001	alle Wurzeln waren tot			
144	„	0,0001	12	—	12	—

Nr.	Angewandte Substanz	Konzentration %	Anzahl der untersuchten Wurzeln	Verhalten der Wurzeln		
				Krümmung		indifferent
				positiv	negativ	
145	Essigsäure	0,001	alle Wurzeln waren tot			
146	„	0,0001	12	—	12	—
147	Weinsäure	0,005	12	—	7	5
148	„	0,01	10	—	10	—
149	Zitronensäure	0,01	10	—	10	—
150	Apfelsäure	0,01	10	—	10	—
151	Knochenmehl	2,5	12	10	—	2
152	„	0,25	12	6	—	6
153	Knopsche Nährlösung	5	12	—	12	—
154	„ „	2,5	12	—	12	—
155	„ „	1	12	—	12	—
156	„ „	0,5	12	—	12	—
157	„ „	0,25	12	—	7	5
158	„ „	0,1	12	—	4	8
159	„ „	0,01	12	—	3	9
160	Harnstoff	1	12	alle Wurzeln waren tot		
161	„	0,01	12	5	—	7
162	„	0,001	12	—	—	12
163	Asparagin	1	12	6	—	6
164	α-Glukose	5—15	36	—	—	36
165	Saccharose	5—15	36	—	—	36
166	Laktose	5—15	36	—	—	36
167	Malzextrakt	1	14	9	—	5
168	Fleischextrakt	1	16	16	—	—
169	Pflaumendekokt	1	16	10	—	6
170	„	5	16	9	—	7
171	Methylenblau	0,001	12	—	9	3
172	Eosin	0,001	12	—	10	2
173	Fuchsin	0,001	12	—	—	12
174	„	0,01	12	—	7	5
175	Karmin	0,001	12	—	—	12
176	„	0,01	12	—	—	12
177	„	0,1	12	—	—	12
178	„	0,5	12	—	6	6
179	Cyanin	0,1	12	—	—	12
180	„	0,5	12	—	5	7